

道路车辆检测和闯红灯监测： 用雷达替代地感线圈车检器的实测报告

北京华同微波科技有限公司
昆山市工研院智能制造技术有限公司

提要：地感线圈车检器在应用市场上仍然占据重要位置。然而，安装地感线圈车检器两三年后，这种车检器会出现频繁故障，其更换工程代价高的缺点变得越来越突出。使用雷达车检器可以克服这些困难。但雷达车检器必须符合用户对地感线圈车检器的应用习惯和规程，才便于采用。本试验针对车辆检测和闯红灯监测应用，对地感线圈检测方法和雷达方法进行对照测试，让雷达测试模拟地感线圈车检器的规程，在这些条件下对两种方法的测试结果进行比较。为了模拟地感线圈在铺设区域上能够形成两条或更多的触发距离线，常用的单频单波束测速雷达不可用，而具有适当照射区域的 FSK 测距测速雷达是很适当的选择。长达数月的测试统计证实，使用 SFK 雷达车检器对车辆检测和闯红灯监测应用能够达到和地感线圈车检器一致的准确性，而雷达车检器会有更多的优点。

1、问题的提出

地感线圈车检器的应用已经被交通管理部门广泛接受。使用这种车检器，需要在道路的沥青路面下用导线构造一个大致成矩形的线圈，该矩形宽度（垂直车道方向尺寸）略小于车道宽度，矩形长度（顺着车道方向尺寸）可以根据应用需求制定，例如 2 米到 10 米。这样，线圈就形成一个检测区。在车辆进入、停留、驶出检测区过程中，车辆的铁磁和金属性质会改变线圈的电感值。使用频率法或电抗法容易检测线圈电感值的变化，而电感值变化能够反映车辆进入、停留、驶出检测区的过程。

了解和使用地感线圈车检器比较容易，同时这种车检器对车辆检测和闯红灯监测能达到较好的准确性，使得地感线圈车检器在应用市场上仍然占据重要位置。然而，安装地感线圈车检器两三年后，这种车检器出现故障逐渐频繁，而更换工程代价高的缺点变得越来越突出。地感线圈在越冬以后老化加快，而且这个问题还难以找到比较经济的方法来解决。更换地感线圈的施工量和对交通的影响不是小事，于是人们在思考使用其他类型车检器的可能性。视频车检器被认为是一种很有发展希望的车检器，但在各种环境和天候条件下测试车辆检测和闯红灯监测的准确性后发现，综合地看视频车检器目前还难以达到较满意性能。有雷达制造

商宣传使用常用的测速雷达作为车检器，如果只用于车辆检测（计数、分类、测速等），这是可行的。然而，对于闯红灯监测，常用的单频率、单波束测速雷达就难以应用。考虑闯红灯监测的实际例子，常常需要监测多种不同的违规行驶，例如（1）车辆超越了止行线；（2）车辆停留在超越止行线的一个位置上；（3）车辆不仅超越止行线，而且行驶超越更远的界限。常常用两个或多个地感线圈，形成两个或多个检测区域，并在每个区域上利用检测信号触发一次或多次拍照取证。最简单情况是参照止行线，在不同距离的两个指定位置上拍照。这个实际要求在原理上是普通测速雷达难以完成的。自然，使用多目标交通雷达有可能满足闯红灯监测的应用需求，但多目标雷达的高价格又排除了这种选择的可能性。

2、闯红灯监测应用：FSK 雷达车检器对比地感线圈车检器

闯红灯监测要求雷达波束能够覆盖一个车道的一段距离范围，并且能够提供进入照射区车辆的实时距离信息，用于引发不同指定距离上的两次或更多次触发信号。如果车辆停止在照射区内，应该能够检测车辆的存在。FMCW 雷达能够满足这些要求，只是其价格偏高。频移键控连续波（FSK）雷达是更合理的选择。FSK 雷达能够提供进入照射区内车辆的实时距离信息，其不足是不能直接提供车辆在照射区内的存在信息。华同微波公司推出的 FSK 雷达被充分检验能够在车辆很低速情况下（2km/H，或更低）提供准确的距离信息。利用这种雷达能够实际地确定在检测区域内车辆的停车一再启动过程，从而实际地确定车辆在某个具体位置上的存在。同样重要的是，这种 FSK 雷达其价格和普通测速雷达相当，用作车检器时，其综合成本与地感线圈车检器基本持平，但雷达的寿命长得多。此外 FSK 雷达车检器有更多的优点，表 1 列出了两种车检器对车辆检测和闯红灯监测应用的比较。

	FSK 雷达车检器	地感线圈车检器
原理	24.15GHz 微波，FSK 雷达	磁感应
施工难易程度	简单	复杂
受天气影响	很小	很小
对车辆的区分能力	强，车辆区分间隔 0.25 米	一般，车辆区分间隔 > 2 米
车辆检测精度	94% ~ 98%	95% ~ 98%
测速精度	高	低
对车辆拥堵、慢行情况的适应能力	有一定适应能力	适应能力差
使用寿命	7 年	3 年
发展趋势	经济型多道、多卡口雷达 经济型横断面车检雷达	无
附注：	（1）车辆检测误差主要出现在有挂车等异性车辆情形。	（1）车辆检测误差主要出现在有挂车等异性车辆情形。

	<p>通过算法改进，可以降低误差。</p> <p>(2) 作为车检器，性能优于车流量检测器 RTMS。</p>	
--	---	--

本报告用实测数据来说明 FSK 雷达的优良性能。

(1) FSK 雷达区分车辆的原理和效果

图 1 是使用 SFK 雷达对串行通过照射区的多个车辆进行数据采集所获得的测试结果图，其横轴是时间，结果图上显示的样本间隔约 13ms。该图的第一行是信号强度图，表现各辆车通过照射区时，雷达输出的信号强度变化。由该图的各个山峰能够直观地判读各个车辆。一般情况下，一个山峰可能不是单峰；同时，当车距较小时，强度山峰会变得越来越难以相互分割开。这些情况会使得凭强度图来区分各个车辆的能力受到限制。

图 1 中第二行是车辆速度图，表现各辆车通过照射区时，雷达输出的车辆速度变化。为获得该图，雷达照射区设置在能覆盖车道止行线后的一个区域，使雷达容易取得车辆停止—再启动的过程数据。图 1 的第二行反映了车辆从停止状态再启动以及后续车辆依次进入照射区过程中，雷达检测到的速度变化图。

图 1 中第三行是车辆距离分布图。可以看出从一辆车到后一辆车，距离分布图的跳动是鲜明的，使得从一辆车到另一辆车更容易相互区分。各个车辆的距离变化线性规律良好，虽然有噪声干扰，克服噪声干扰相对容易，使得能够在多个距离上设置对相机的取证触发。这正是 SFK 雷达的重要优点。

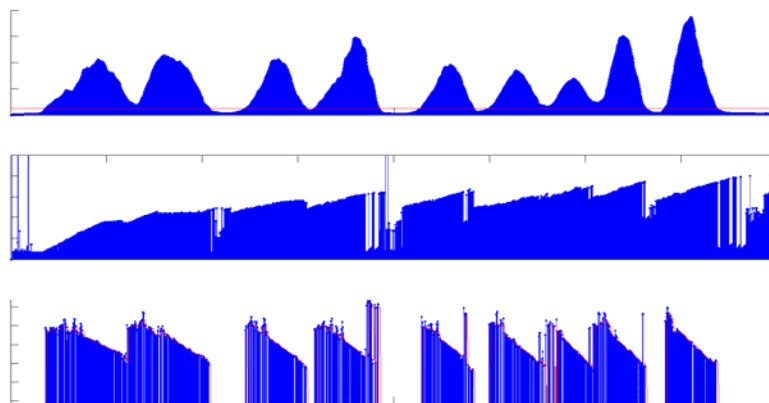


图 1 多个车辆依次通过雷达照射区获得的雷达信号图

(2) FSK 雷达捕捉低速和起步停车目标的能力

图 2 表现了一个车辆典型的完整停车过程。图 2 中第一行是车辆的雷达信号强度图；第二行是车辆的速度图；第三行是车辆的距离图。可以看出，速度下降

很规则，直到停止。第三行的距离图出现的小跳变是数据量化造成的现象。当速度很小时，距离变化很小。当车辆完全停止时，由多普勒效应造成的强度信号很快下降。综合这些信息能够确认车辆停止在速度达到最小值对应的距离位置附近。



图 2 单个车辆在照射区域内停车过程的信号图

3、 如何使 FSK 雷达等效于地感线圈车检器

为了对比 FSK 雷达车检器和地感线圈车检器的性能，本试验选择了两处事先埋设了地感线圈的路段进行测试，其中一处无锡市广石西路—凤宾路交叉口上，有一地感线圈跨在止行线上，同时还有第二地感线圈在止行线外。原有的地感线圈车检器已确立了两个触发位置。在绿灯通行阶段，当车辆尾部处于这两个位置时就会引发触发信号，将信号送给红绿灯控制信号机中的智能交通终端控制管理设备，能够完成交通信息统计。在红灯止行阶段，当有车辆尾部处于这两个位置时就会引发触发信号，用于启动相机的拍照取证。用 FSK 雷达替代地感线圈车检器，问题简化为安排雷达，使得当车辆尾部处于两个已确立的位置时能引发触发信号。为此，选用 FSK 雷达必须满足

- (1) 雷达天线的照射区必须充分覆盖两个已确立位置；
- (2) 雷达天线的照射区宽度应略小于车道宽度。

在试验中选用了华同公司生产的 FSK 雷达 FTS01A，天线-3dB 波束宽度为 $4.4^{\circ} \times 7^{\circ}$ ；数据更新周期 13ms；雷达设计的距离参数适合于覆盖距离范围 17 米到 34 米；而雷达适应的速度范围是 2km/H 到 240km/H。雷达照射区可以根据天线波束的-7dB 覆盖范围来估计。所设计天线的-7dB 波束宽度为 $6.6^{\circ} \times 10.6^{\circ}$ 。假定雷达安装高度为 7 米，车道宽度为 3.5 米。可以绘制一个几何图形来估计雷达安装和覆盖的关系，如图 3 所示。由图可以看出，雷达天线高低向-7dB 波束宽度使用 10.6° 正好适配 17 米到 34 米的距离范围；而雷达方位向-7dB 波束宽度使用 6.6° 正好适配大致 3.5 米的车道宽度。这样，只要安排雷达覆盖的距离范围，使得能

够覆盖线圈车检器已确立的两个距离位置,就能够保证雷达等效地替换地感线圈车检器。其基本原理在于, SFK 雷达在其波束覆盖范围内的任何指定距离上都能给出检测信号并引发触发。

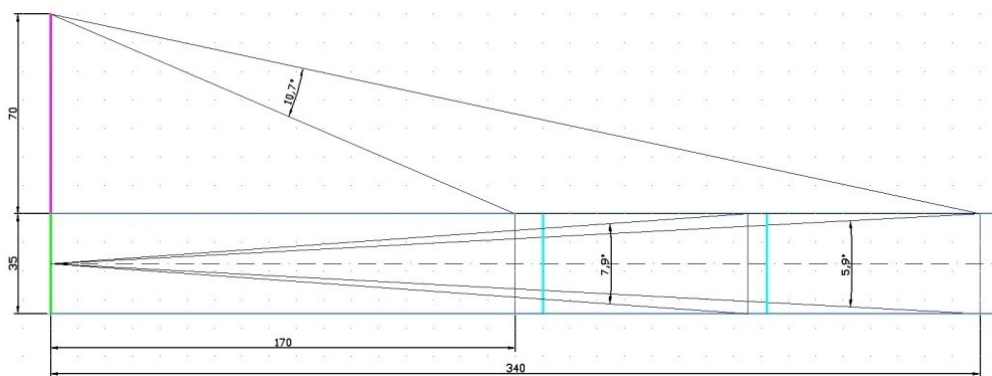


图 3 对合理实施雷达安装和覆盖的辅助用图

4、测试实施方案和结果

图 4 示出了本次测试的实施方案。雷达安装位置处于止行线后 18 米处。适当调整雷达天线的俯仰角能够保证由地感线圈车检器已确立的两条检测线完全包含在雷达覆盖范围内。在试验中, 两条检测线的位置和距离可以调整, 便于达到和现场地感线圈车检器的检测信号在时间上取得一致。

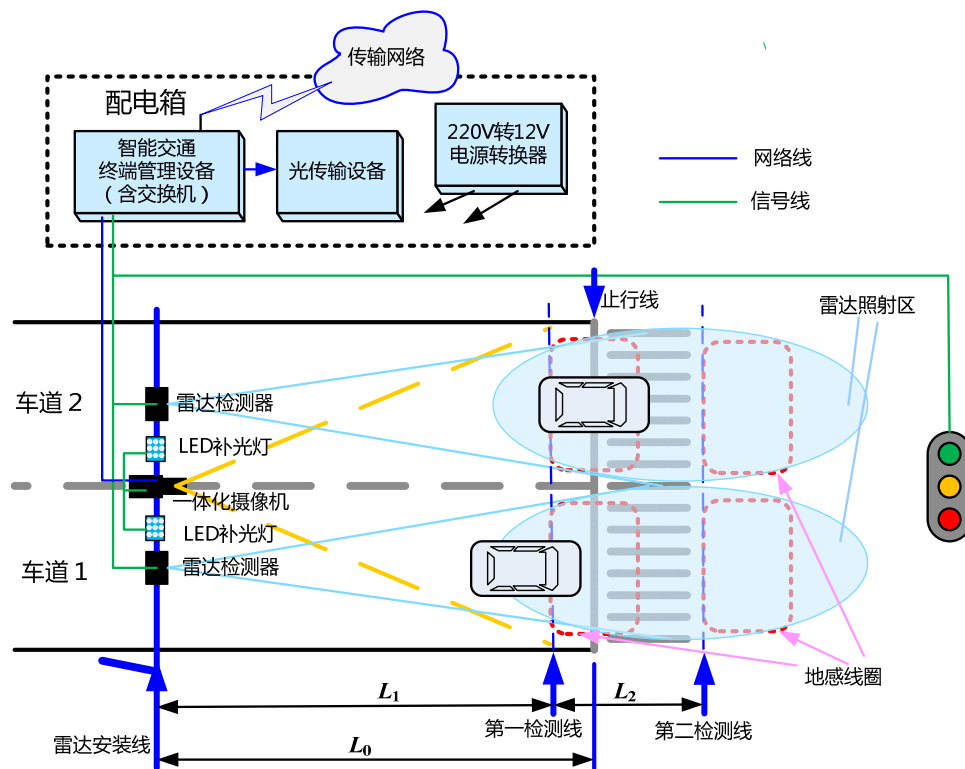


图 4 对比测试实施方案

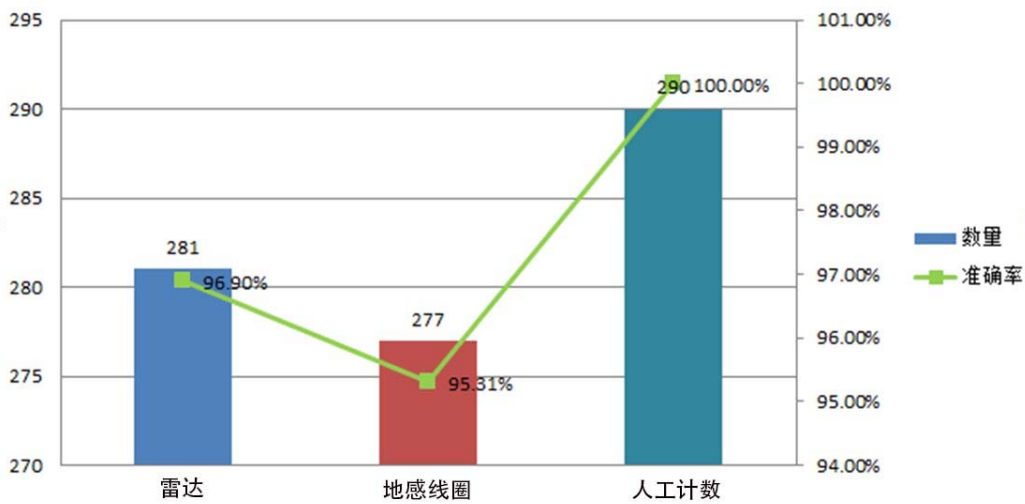
第一组典型数据:

数据统计时间: 2017年8月4日 12:13 - 14:00

记录数据: 车辆计数

参照数据: 使用视频记录, 再用人工读取, 保证参照数据 100%准确性

结果统计图如下:



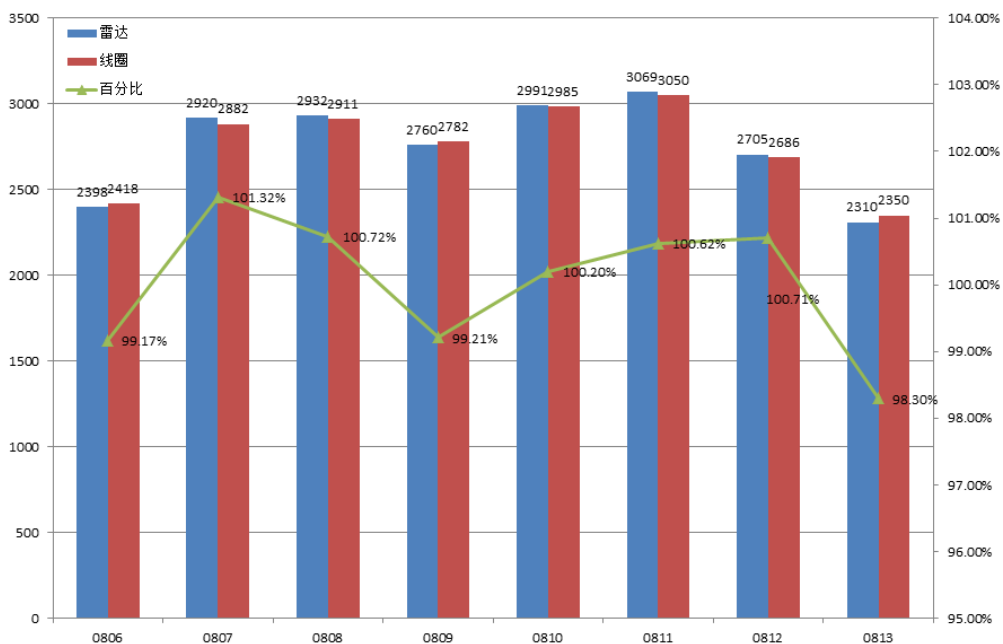
第二组典型数据:

数据统计时间: 2017年8月6日 - 8月13日, 全天24小时不间断

记录数据: 车辆计数

参照数据: 相互对照

结果统计图如下:



补充说明及统计结果分析：

1、短期计数记录显示，雷达数据和地感线圈数据基本一致，都能达到良好的准确性。

2、雷达持续运行 6 周内未显示故障。

3、统计 2017.8.6 – 2017.8.19 共 14 日的结果显示，雷达数据和地感线圈数据基本一致。

4、对单车通过检测区域进行分析表明，线圈检测与雷达检测基本一致，二者在触发上的时间误差为 83 毫秒。

结论：

通过对成量及单车通行的检测，可以为“闯红灯系统—雷达”的可行性以及准确性提供参考。测试结果表明，使用 FSK 雷达的车检器能够做到与地感线圈车检器的结果基本一致。

2017 年 10 月 13 日