



研究与开发

## 5G 专网与 V2X 直连通信的干扰分析与研究

宫剑, 李彩麒, 陶洪波

(国家无线电监测中心检测中心, 北京 100041)

**摘要:** 实测了 5G 专网和 V2X 直连通信两个相邻频段系统设备的射频参数, 对系统场景参数和信道模型进行了相关标准和理论模型研究, 通过仿真对不同应用场景下车联万物 (vehicle to everything, V2X) 系统与 5G 专网系统之间的兼容共存条件和干扰协调给出了分析结论和相关建议, 对工业互联网与智能网联汽车的协同发展有一定的参考价值。

**关键词:** V2X 直连通信; 5G 专网; 兼容共存; 干扰协调

**中图分类号:** TN929.5

**文献标志码:** A

**doi:** 10.11959/j.issn.1000-0801.DXKX250674

## Interference analysis and research on 5G private networks and V2X direct communication

Gong Jian, Li Caiqi, Tao Hongbo

The State Radio Monitoring Center Testing Center, Beijing 100041, China

**Abstract:** The RF parameters of devices in two adjacent frequency band systems, namely 5G private networks and vehicle to everything(V2X) direct communication were measured, and the system scenario parameters and channel models based on relevant standards and theoretical models were studied. Through simulations, the analytical conclusions and recommendations regarding the compatibility, coexistence conditions, and interference coordination between V2X systems and 5G private network systems in different application scenarios were provided, it has certain reference value for the collaborative development of the industrial internet and intelligent connected vehicles.

**Key words:** V2X direct communication, 5G private network, compatibility and coexistence, interference coordination

### 0 引言

车联网产业是汽车、电子、信息通信和道路交通运输等行业深度融合的新型产业, 是全球创新热点和未来发展的制高点<sup>[1-2]</sup>。2018 年, 工业

和信息化部印发了《车联网 (智能网联汽车) 直连通信使用 5 905—5 925 MHz 频段管理规定 (暂行)》的通知<sup>[3]</sup>, 计划将 5 905 MHz 至 5 925 MHz 频段作为基于长期演进-车联万物 (long term evolution-vehicle to everything, LTE-V2X) 技术

收稿日期: 2025-09-18; 修回日期: 2025-12-29

通信作者: 陶洪波, taohongbo@src.org.cn



的车联网（智能网联汽车）直连通信的工作频段。2023年，为充分发挥标准在车联网产业生态环境构建中的引领和规范作用，适应我国智能网联汽车发展的新趋势、新特征和新需求，加快构建新型智能网联汽车标准体系，工业和信息化部、国家标准化委员会联合修订形成了《国家车联网产业标准体系建设指南（智能网联汽车）（2023版）》<sup>[4]</sup>，体现了我国建设社会主义现代化智能网联汽车强国的决策和决心。同年，工业和信息化部发布了《中华人民共和国无线电频率划分规定》，率先在全球将6 425 MHz至7 125 MHz中的全部或部分频段用于国际移动通信（international mobile telecommunications, IMT）系统（含5G/6G）。为确保工业无线专网技术试验取得成效，发挥示范效应形成标志性成果，推动无线技术在重大装备制造领域的深度应用和融合发展，我国正在考虑将5 925 MHz至6 125 MHz中的部分频率用于5G工业专网设计与试验，这也是带动我国工业制造转型升级的必然选择。

然而，由于V2X系统的5 905 MHz至5 925 MHz与5 925 MHz至6 125 MHz（以下简称5.9 GHz专网）是紧邻频段，有必要对两个系统之间的干扰协调及兼容共存条件进行分析和研究。本文对5.9 GHz试验应用环境进行了现场综合性考察和测量，对V2X设备和5.9 GHz专网系统基站、终端设备进行了射频参数的实验室测量，对V2X系统和5.9 GHz专网系统的应用场景和信道模型进行了相关标准和理论模型研究，并根据上述参数和条件专门开发了适用于仿真平台的软件代码，对两系统间的兼容性条件进行了仿真和分析，给出了相关结论和建议。

## 1 V2X系统的仿真参数

本文提到的V2X并不包含新演进的空联网（aircraft to everything, A2X）应用场景，仅指地面直连这一种通信方式<sup>[5]</sup>，包括车到车（vehicle

to vehicle, V2V）、车到基础设施（vehicle to infrastructure, V2I）、基础设施到车（infrastructure to vehicle, I2V）和车到行人（vehicle to pedestrian, V2P）。目前，V2P使用较少，暂时不予考虑。I2V场景指由路边单元（road side unit, RSU）设备发出给车载单元（on board unit, OBU）设备的链路；V2I场景指由OBU到RSU的链路；V2V场景则是由OBU到OBU的链路。本文将重点分析这3种链路场景的受扰和干扰情况。

### 1.1 V2X系统参数

根据《车联网（智能网联汽车）直连通信使用5 905—5 925 MHz频段管理规定（暂行）》以及车联网设备行业标准规定<sup>[6-8]</sup>，表1展示了车联网设备典型技术参数。

表1 车联网设备典型技术参数

参数	指标
工作频率范围/MHz	5 905~5 925
信道带宽/MHz	20
发射功率限值	车载或便携无线电设备：26 dBm 路边无线电设备：29 dBm
天线增益/dB	3（全向）
邻道抑制比/dB	大于31
接收机灵敏度/dBm	-87.5
接收机噪声系数/dB	9
接收机选择性/dB	27

### 1.2 V2X场景距离

根据中国汽车工程学会发布的《合作式智能运输系统车用通信系统应用层及应用数据交互标准（第一阶段）》和《合作式智能运输系统车用通信系统应用层及应用数据交互标准（第二阶段）》<sup>[9-10]</sup>，在不同场景中，OBU到OBU之间，即V2V的通信距离，为150~400 m；OBU与RSU之间，即V2I或I2V的通信距离，为150~300 m。V2X通信场景距离见表2。

### 1.3 V2X信道模型

根据3GPP TR37.885<sup>[11]</sup>，针对OBU设备的V2V链路，有以下3种状态建模。（1）如果两辆车

表2 V2X通信场景距离

场景应用	通信类型	通信距离/m
协作式车辆编队	V2V	400
前向碰撞预警/逆向超车碰撞预警/车辆失控预警	V2V	300
交叉路口碰撞预警	V2V/I2V	300
高优先级车辆让行/紧急车辆信号优先权	V2V/V2I	300
道路危险状况提示/限速预警	I2V	300
盲区预警/变道辅助/紧急制动预警/异常车辆提醒	V2V	150
闯红灯预警/基于信号灯的车速引导/车内标牌/前方拥堵提醒	I2V	150
交叉路口碰撞预警/左转辅助	V2V/I2V	150
智能汽车近场支付	V2I	150

在同一条街道上且视距 (line of sight, LOS) 传输路径未被车辆阻挡, 则 V2V 链路处于 LOS 状态; (2) 如果两辆车在不同的街道上, LOS 路径被建筑物阻挡, 则 V2V 链路处于非视距 (non-line of sight, NLOS) 传输状态; (3) 如果两辆车在同一条街道上且 LOS 路径被车辆阻挡, 则 V2V 链路处于非视距传输车辆阻挡 (non-line of sight vehicle, NLOSv) 状态。

同一条街道上两辆车之间的连接处于 LOS 状态或 NLOSv 状态。LOS 和 NLOSv 状态的概率见表 3, 其中  $d$  表示发射和接收用户设备之间的距离, 单位为 m。LOS 和 NLOSv 下的损耗模型见表 4。其中 PL 表示路径损耗, 单位 dB;  $f_c$  表示中心频率, 单位为 GHz;  $d_{3D}$  表示发射端和接收端在三维空间中的欧几里得距离, 单位为 m。基线不会更新在 LOS 和 NLOSv 之间的状态, 但评估时可以考虑两者之间的状态更新。

当 V2V 链路处于 NLOSv 状态时, 须按以下规则计算附加的车辆阻塞损耗: 阻塞物高度取车辆高度, 该高度根据仿真场景中车型比例从 3 种车辆类型中随机选取附加阻塞损耗, 计算式为  $\max\{0 \text{ dB}, \text{对数正态分布随机变量}\}$ 。3 种情况具体如下。

(1) 情况 1: 若发射端与接收端天线高度的最小值大于阻塞物高度, 则不产生附加阻塞损耗。

(2) 情况 2: 若发射端与接收端天线高度的最大值小于阻塞物高度, 均值为  $9 + \max(0, 15\lg d - 41)$  dB, 标准差  $\sigma = 4.5$  dB。

(3) 情况 3: 其他情况下均值为  $5 \text{ dB} + \max(0, 15\lg 10d - 41)$ , 标准差  $\sigma = 4$  dB。

本文针对 RSU 到 OBU 的 I2V 链路或 OBU 到 RSU 的 V2I 链路, 根据实际场景, 采用 3GPP

表3 LOS和NLOSv状态的概率

场景	LOS	NLOSv
高速公路场景	如果 $d \leq 475$ , $P(\text{LOS}) = \min\{1, ad^2 + bd + c\}$ 其中, $a = 2.1013 \times 10^{-6}$ , $b = -0.002$ , $c = 1.0193$ 如果 $d > 475$ , $P(\text{LOS}) = \max\{0, 0.54 - 0.001 \times (d - 475)\}$	$P(\text{NLOSv}) = 1 - P(\text{LOS})$
城区场景	$P(\text{LOS}) = \min\{1, 1.05\exp(-0.0114 \times d)\}$	$P(\text{NLOSv}) = 1 - P(\text{LOS})$

表4 LOS和NLOSv下的损耗模型

模型	路径损耗/dB	阴影损耗标准差 $\sigma_{\text{SF}} / [\text{dB}]^2$
LOS, NLOSv	高速公路: $\text{PL} = 32.4 + 20 \lg 10(d_{3D}) + 20 \lg(f_c)$ 城区: $\text{PL} = 38.77 + 16.7 \lg(d_{3D}) + 18.2 \lg(f_c)$	3



TR38.901中定义的城市宏小区 (urban macrocell, UMa)-LOS模型<sup>[12]</sup>。

## 2 5.9 GHz 专网系统的仿真参数

### 2.1 专网系统参数

基于对5.9 GHz专网系统基站和终端设备的实测数据,5.9 GHz专网系统仿真参数见表5。

表5 5.9 GHz专网系统仿真参数

参数	数值
载波中心频率/GHz	5.975 01
信道带宽/MHz	100
下行子载波间隔/kHz	30
频率复用	1
小区半径/m	100
BS天线高度/m	10~20 均匀分布
扇区化	3扇区
基站最大总发射功率/dBm	42
BS天线增益/dBi	10
UE高度/m	1.5~3.0 均匀分布
UE发射功率/dBm	20
UE天线增益/dBi	3
BS噪声系数/dB	5
UE噪声系数/dB	9
UE分布	均匀
评估指标	吞吐量损失不超过5%或0.1%

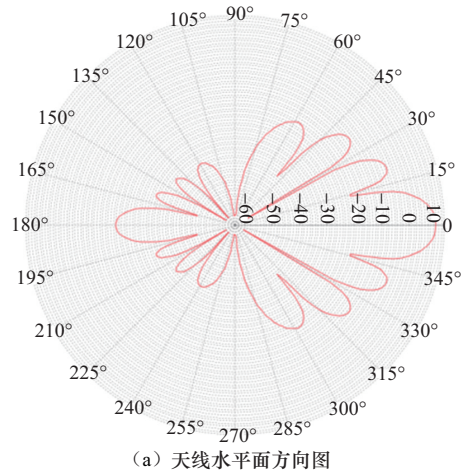
### 2.2 专网天线模型

根据ITU-R M.2101<sup>[13]</sup>的波束成形建议,5.9 GHz专网系统基站天线参数见表6。

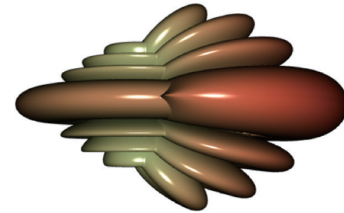
表6 5.9 GHz专网系统基站天线参数

参数	数值
单阵子增益/dBi	1
单阵子水平3 dB波宽/(°)	60
单阵子垂直3 dB波宽/(°)	60
单阵子前后比	30
水平方向阵子数	8
垂直方向阵子数	1
水平阵子间隔	0.5λ
垂直阵子间隔	0.5λ
总天线增益/dBi	10

5.9 GHz专网系统基站天线方向图如图1所示。5.9 GHz专网终端的天线与V2X系统类似,为全向天线,增益为3 dBi。



(a) 天线水平面方向图



(b) 三维方向图

图1 5.9 GHz专网系统基站天线方向图

### 2.3 专网信道模型

5.9 G专网系统根据实际场景,同样选择3GPP TR38.901 UMa-LOS模型。

## 3 系统间仿真参数及结果分析

本文仿真分析将从5.9 GHz专网对V2X、V2X对5.9 GHz专网的干扰两个方面进行。V2X和5.9 GHz专网共存场景示意图如图2所示,左侧为5.9 GHz专网系统,实线箭头为基站与终端之间的系统内信号链路;右侧为V2X系统,实线箭头代表V2X系统内RSU和OBU之间、OBU与OBU之间的信号链路;左右两侧之间的虚线箭头为系统间干扰信号链路,包括5.9 GHz专网基站和终端对RSU及OBU的干扰,以及RSU和OBU对5.9 GHz专网基站和终端的干扰。

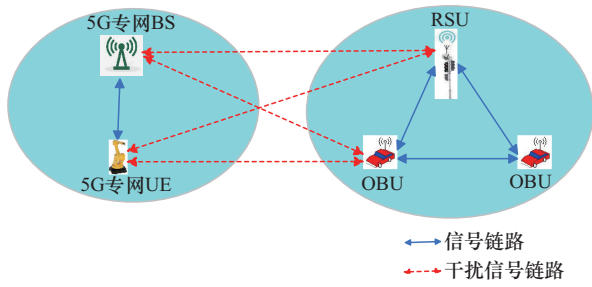


图2 V2X和5.9 GHz专网共存场景示意图

5.9 GHz专网系统小区部署如图3所示。在干扰分析中，5.9 GHz专网系统的网络部署设置为2阶、19个小区，每个小区由3扇区组成，小区半径为100 m，基站与基站之间的距离为300 m。

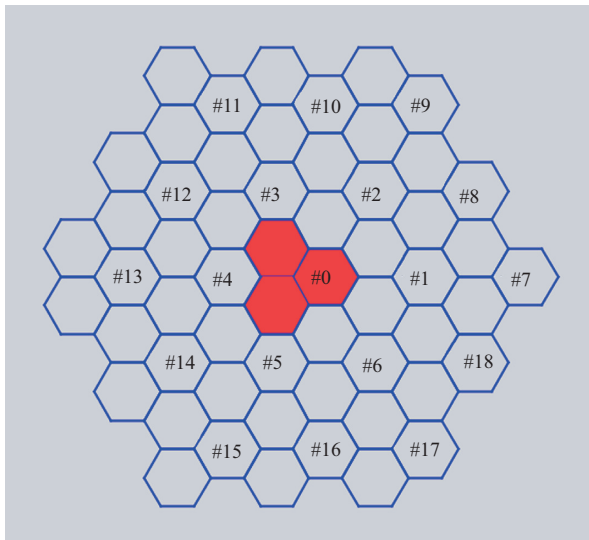


图3 5.9 GHz专网系统小区部署

本文采用蒙特卡洛仿真方法进行仿真。根据实际应用场景，通常对于任意一个受扰方，干扰方的上行和下行链路都是同时存在的，所以本文将干扰链路信号设置为两个链路（上行+下行），

如5.9 GHz专网（上行+下行），以及RSU到OBU+OBU到RSU的模式，而受扰方设置为单向链路。RSU和OBU之间分别考虑距离为150 m和300 m的场景；OBU到OBU分别考虑距离为150 m和400 m的场景。V2X和5.9 GHz专网兼容共存仿真场景见表7。在V2X与5.9 GHz专网系统之间同样采用3GPP TR38.901 UMA LOS模型。

表7 V2X和5.9 GHz专网兼容共存仿真场景

场景编号	干扰方	受扰方
1	5.9 GHz专网（上行+下行）	RSU到OBU（150 m/300 m）
2	5.9 GHz专网（上行+下行）	OBU到RSU（150 m/300 m）
3	5.9 GHz专网（上行+下行）	OBU到OBU（150 m/400 m）
4	RSU到OBU+OBU到RSU	5.9 GHz专网（上行）
5	RSU到OBU+OBU到RSU	5.9 GHz专网（下行）
6	OBU到OBU+OBU到OBU	5.9 GHz专网（上行）
7	OBU到OBU+OBU到OBU	5.9 GHz专网（下行）

### 3.1 5.9 GHz专网对V2X的干扰仿真及结果分析

本文使用分析和实测的系统参数及信道模型进行仿真建模，V2X系统干扰评价指标采用误块率（block error rate, BLER）指标，其中BLER与信噪比（signal noise ratio, SNR）映射关系采用3GPP TR 38.886中的A.2，当SNR≥7 dB时，相对速度30 km/h和120 km/h的BLER都低于5%。当SNR≥12 dB时，相对速度30 km/h和120 km/h的BLER均为0%。

仿真半径为2 km范围的5.9 GHz专网对V2X的干扰仿真结果见表8，其中“—”表示在仿真条件所给半径内不需要隔离距离，可以共存。隔

表8 5.9 GHz专网对V2X的干扰仿真结果

干扰链路	受扰链路	SNR≥7 dB 所需隔离距离/m	SNR≥12 dB 所需隔离距离/m
5.9 GHz（上行） +	RSU到OBU 150 m	—	100
	OBU到RSU 150 m	—	100
5.9 GHz（下行）	RSU到OBU 300 m	100	600
	OBU到RSU 300 m	600	1 000
	OBU到OBU 150 m	—	—
	OBU到OBU 400 m	600	1 200



离距离的定义为干扰链路中的发射机与受扰链路中的接收机之间的直线距离。根据表8可知, 5.9 GHz 专网(上行+下行)干扰链路对V2X的干扰, 如600 m隔离距离可满足7 dB信噪比, 则吞吐量损失在5%以内; 1 200 m隔离距离可满足12 dB信噪比, 则无吞吐量损失。

### 3.2 V2X对5.9 G专网的干扰仿真及结果分析

V2X对5.9 G专网的干扰仿真结果见表9。根据大量仿真结果可知, V2X干扰链路在不同间距(150 m、300 m、400 m)条件下的差别较小, 原因是干扰发射链路为双向, 即RSU到OBU和OBU到RSU链路, 在使用蒙特卡洛仿真取大量随机样本位置的情况下导致不同间距差别较小, 不区分具体间距。当受扰链路为上行链路时, 发射端为终端设备; 当受扰链路为下行链路时, 发射端为基站设备。根据表5可知, 终端设备的发射功率相对较低, 所以上行链路受链路接收机的SNR影响相对较大。从仿真结果也可以看出, 在同样吞吐量损失的情况下, 所允许存在的针对上行链路的干扰链路发射机数量就更少。在2 km仿真半径条件下, 当V2X干扰发射机链路总数大于2时, 300 m的隔离距离基本可以满足V2X对5.9 GHz基站的较小吞吐量损失, 如0.1%以下。如果允许吞吐量损失5%, 则发射机链路总数可以增至60及以上。

## 4 结束语

本文在对V2X直连通信及5G专网系统参数、使用场景、信道模型等方面进行研究和实测的基

础上, 对两系统间的干扰进行了仿真和分析, 得出了兼容共存条件。从仿真结果可知, 受发射功率的影响, V2X对5.9 GHz专网的干扰影响要小于5.9 GHz专网对V2X的干扰影响。但由于本文在5.9 GHz专网系统的仿真条件方面考虑的全部是室外蜂窝部署场景, 更加适用于港口、工业园区、矿山等应用场景。如果针对机场、工业厂房、医疗等室内使用场景, 则额外还有20~30 dB的建筑墙体损耗, 天线指向性等因素也会进一步弱化其干扰性, 说明本文的仿真结论是在较为严格的场景条件下得出的。在所有V2X应用场景下, 两系统之间若满足隔离距离600 m, 即可实现吞吐量损失小于5%的兼容共存; 若两系统之间满足隔离距离1 200 m, 即可实现吞吐量损失小于0.1%的兼容共存; 若不考虑OBU到OBU 400 m间隔距离协作式车辆编队使用场景, 两系统之间满足隔离距离1 000 m, 即可实现吞吐量损失小于0.1%的兼容共存。但是, 上述结论是基于仿真结论的局限性得出的, 尚未进行大量的外场实测验证, 后续还可进一步开展相关实测研究。

### 参考文献:

- [1] 方箭, 冯大权, 段海军, 等. V2X通信研究概述[J]. 电信科学, 2019, 35(6): 102-112.  
Fang J, Feng D Q, Duan H J, et al. An overview of V2X communications[J]. Telecommunications Science, 2019, 35(6): 102-112.
- [2] 葛雨明, 毛祺琦. 车联网新型基础设施跨域协同部署研究[J]. 电信科学, 2023, 39(3): 24-31.  
Ge Y M, Mao Q Q. Research on cross-domain cooperation deployment of V2X infrastructure[J]. Telecommunications Sci-

表9 V2X对5.9 GHz专网的干扰仿真结果

干扰链路	受扰链路	仿真半径/ 隔离距离	允许的干扰链路发射机数量	
			0.1%吞吐量损失	5%吞吐量损失
RSU到OBU +OBU到RSU	5.9 GHz(上行)	2 km/0.3 km	1+1	30+30
	5.9 GHz(下行)	2 km/0.3 km	4+4	100+100
OBU到OBU + OBU到OBU	5.9 GHz(上行)	2 km/0.3 km	1+1	50+50
	5.9 GHz(下行)	2 km/0.1 km	5+5	200+200

- ence, 2023, 39(3): 24-31.
- [3] 工业和信息化部.《车联网(智能网联汽车)直连通信使用5905-5925MHz频段管理规定(暂行)》[EB].(2018-10-25)[2025-07-01].  
Ministry of Industry and Information Technology. Interim regulations on the use of the 5 905-5 925 MHz band for Internet of vehicles (intelligent connected vehicles) direct communication [EB].(2018-10-25)[2025-07-01].
- [4] 工业和信息化部,国家标准化管理委员会.《国家车联网产业标准体系建设指南(智能网联汽车)(2023版)》[EB].(2023-07-25)[2025-07-18].  
Ministry of Industry and Information Technology, National Standardization Administration. National guide for the construction of Internet of vehicles (intelligent connected vehicles) industry standard system (2023 Edition) [EB]. (2023-07-25) [2025-07-18].
- [5] 张少伟. 6 GHz频段V2X车联网系统与卫星固定业务兼容性研究[J]. 电子技术应用, 2019, 45(9): 5-7, 12.  
Zhang S W. Research on the compatibility between V2X Internet of vehicles system and FSS at 6 GHz frequency band[J]. Application of Electronic Technique, 2019, 45(9): 5-7, 12.
- [6] YD/T 3755—2024 基于LTE的车联网无线通信技术 支持直连通信的路侧设备技术要求[S].  
YD/T 3755—2024 LTE-based Internet of Vehicles wireless communication technology technical requirements for roadside equipment supporting direct communication[S].
- [7] YD/T 3756—2024 基于LTE的车联网无线通信技术 支持直连通信的车载终端设备技术要求[S].  
YD/T 3756—2024 LTE-based Internet of vehicles wireless communication technology technical requirements for vehicle-mounted terminal equipment supporting direct communication[S].
- [8] TR 38.886 V16.1.0: 2020 V2X services based on NR user equipment (UE) radio transmission and reception [S].
- [9] T/CSAE 53-2020 合作式智能运输系统 车用通信系统应用层及应用数据交互标准(第一阶段)[S].  
T/CSAE 53-2020 Cooperative intelligent transportation system—Vehicular communication application layer specification and data exchange standard(Phase I)[S].
- [10] T/CSAE 157-2020 合作式智能运输系统 车用通信系统应用层及应用数据交互标准(第二阶段)[S].  
T/CSAE 157-2020 Cooperative intelligent transportation system—Vehicular communication application layer specification and data exchange standard(Phase II)[S].
- [11] TR 37.885 V15.3.0: 2019 Study on evaluation methodology of new vehicle-to-everything (V2X) use cases for LTE and NR [S].
- [12] TR 38.901 V18.0.0: 2024 Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz [S].
- [13] ITU-R M.2102-0: 2017 Modelling and simulation of IMT networks and systems for use in sharing and compatibility studies [S].

## [作者简介]



宫剑(1977-),女,国家无线电监测中心检测中心高级工程师,主要研究方向为5G、6G、无线接入系统和毫米波雷达等设备的检测方法及兼容共存分析。



李彩麒(1987-),男,国家无线电监测中心检测中心工程师,主要研究方向为基站、车联网、星闪、微波、卫星等无线电设备的测量和检测。



陶洪波(1977-),男,国家无线电监测中心检测中心副主任、高级工程师,主要研究方向为无线电设备检测技术、电磁兼容性分析、标准化制定、无线电专用测量仪表设计和开发等。