jjf

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF ××××－202×

智能网联汽车封闭测试场地

校准规范

Calibration Specification for the

Intelligent Connected Vehicles Closed Test Field

（征求意见稿）

20××-××-××发布 20××-××-××实施

­———————————————————————————————

**国 家 市 场 监 督 管 理 总 局** 发 布

————————————————————————————————

JJF××××－202×

智能网联汽车封闭测试场地校准规范

Calibration Specification for the

Intelligent Connected Vehicles Closed Test Field

————————————————————————————————

归 口 单 位：全国智能网联汽车专用计量测试技术委员会

主要起草单位：

参加起草单位：

本规范由计量技术研究所负责解释。

本规范由全国智能网联汽车专用计量测试技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

参加起草人：

目 录

[引 言 I](#_Toc153287833)

[1 范围 1](#_Toc153287834)

[2 引用文件 1](#_Toc153287835)

[3 术语 1](#_Toc153287836)

[4 概述 2](#_Toc153287837)

[4.1 路端环境感知系统 2](#_Toc153287838)

[4.2 气候模拟系统 3](#_Toc153287839)

[4.3 隧道模拟系统 4](#_Toc153287840)

[5 计量特性 4](#_Toc153287841)

[5.1 路端环境感知传感器目标探测能力 4](#_Toc153287842)

[5.2 气候模拟系统计量特性 4](#_Toc153287843)

[5.3 隧道模拟系统计量特性 6](#_Toc153287844)

[6 校准条件 7](#_Toc153287845)

[6.1 被校设备文件资料要求 7](#_Toc153287846)

[6.2 校准环境条件 7](#_Toc153287847)

[6.3 校准用设备 8](#_Toc153287848)

[7 校准项目和方法 8](#_Toc153287849)

[7.1 校准项目一览表 8](#_Toc153287850)

[7.2 路端环境感知系统校准方法 9](#_Toc153287851)

[7.3 气候模拟系统校准方法 12](#_Toc153287852)

[7.4 隧道模拟系统校准方法 17](#_Toc153287853)

[8 校准结果表达 23](#_Toc153287854)

[9 复校时间间隔 24](#_Toc153287855)

[附录A 智能网联汽车封闭测试场地校准原始记录格式 25](#_Toc153287856)

[附录B 校准证书（内页）内容 36](#_Toc153287857)

[附录C 路端环境感知系统位置误差的不确定度分析 37](#_Toc153287858)

[附录D 路端环境感知系统测速误差的不确定度分析 41](#_Toc153287859)

[附录E 路端环境感知系统航向角误差的不确定度分析 43](#_Toc153287860)

[附录F 气候模拟系统平均降雨量测量的不确定度分析 45](#_Toc153287861)

[附录G 气候模拟系统平均降雪量测量的不确定度分析 48](#_Toc153287862)

[附录H 气候模拟系统风速测量的不确定度分析 51](#_Toc153287863)

[附录J 气候模拟系统结冰道路摩擦系数测量的不确定度分析 53](#_Toc153287864)

[附录K 隧道模拟系统平均亮度测量的不确定度分析 55](#_Toc153287865)

[附录L 隧道模拟系统卫星信号和移动通信信号强度测量的不确定度分析 57](#_Toc153287866)

引 言

JJF 1001—2011《通用计量术语及定义》、JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》共同构成制定本校准规范的基础性系列规范。

本规范为首次发布。

智能网联汽车封闭测试场地校准规范

* 1. 范围

本规范适用于智能网联汽车封闭测试场地的校准。

* 1. 引用文件

本文件引用了下列文件

JJG 527-2015 固定式机动车雷达测速仪

GB/T 21255-2019 机动车测速仪

GB/T 3784-2009 电工术语 雷达

GB/T 14950-2009 摄影测量与遥感术语

GB/T 35221 地面气象观测规范 总则

GB/T 35223 地面气象观测规范 天气现象

GB/T 35227 地面气象观测规范 风向和风速

GB/T 35228 地面气象观测规范 降水量

GB/T 35229 地面气象观测规范 雪深与雪压

GB/T 28592-2012 降水量等级

GB/T 28591-2012 风力等级

GB/T 5700-2008 照明测量方法

JTG/T D70/2-01-2014 公路隧道照明设计细则

JTG E60-2008 公路路基路面现场测试规程

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

* 1. 术语

JJG 527-GB/T 21255-2019、GB/T 3784-2009、GB/T 14950-2009、GB/T 35221、GB/T 35223、GB/T 35227、GB/T 35228、GB/T 35229、GB/T 28591-2012、GB/T 28592-2012、GB/T 5700-2008、JTG/T D70/2-01-2014以及JTG E60-2008界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 路端环境感知系统 environment perception system on the roadside

安装在路端的用于发现目标并获取目标位置等信息的装置，系统使用的传感器可包括但不限于毫米波雷达、激光雷达、摄像头等，系统融合单个或多个传感器的信息后获得目标包括位置、速度等在内的信息。

3.2 现场测速标准装置 standard speed-measuring device for field test

用于测量机动车通过路端环境感知系统检测区域行驶速度的专用检测设备

[ JJG 527-2015，术语3.3]

3.3 现场位置误差 field test position measurement error

在同一时间和同一位置处，路端环境感知系统与现场测距标准装置对同一被测车辆的位置测量误差。

3.4 现场测速误差 field test speed measurement error

在同一时间和同一位置处，路端环境感知系统与现场测距标准装置对同一被测车辆的速度测量误差。

3.5 现场测航向角角误差 field test yaw angle measurement error

在同一时间和同一位置处，路端环境感知系统与现场测距标准装置对同一被测车辆的航向角度测量误差。

3.6 摆值 British pendulum number

用摆式摩擦系数测定仪测定路面在潮湿条件下的摩擦系数表征值，为摩擦系数的100倍，即BPN。

* 1. 概述

智能网联汽车封闭测试场地通过创建可控及可复现的场景来完成对于智能网联汽车的自动驾驶功能和网联功能的测试。封闭测试场主要由基础测试场地、自然环境模拟、交通要素系统、通信系统、控制中心等几个部分组成。其中基础测试场地、自然环境模拟和通信系统是构成智能网联汽车场景验证测试的基本元素。本规范挑选其中对于自动驾驶功能验证至关重要的几个设备设施进行计量校准。

4.1 路端环境感知系统

路端环境感知系统安装在封闭测试场地的路端，如路口龙门架或路侧立柱。路端环境感知系统通常由包括但不限于毫米波雷达、激光雷达和摄像头的环境感知传感器组成。各类传感器各自独立检测并获得目标的状态信息后发送给系统传感器融合模块。融合模块在融合多传感器信息后输出目标的状态信息，包括目标位置、速度和航向角。路端环境感知系统的典型结构图如图1所示。路端环境感知系统中的毫米波雷达通过发射一定频率的无线电波并接收目标物造成的反射回波来确定目标物的位置、速度、角度等信息。路端环境感知系统中的激光雷达通过发射一定波长的红外线并接收目标造成的反射回波来确定目标物的位置、速度、角度、类型等信息。路端环境感知系统中的摄像头通过拍摄道路画面并进行图像数据分析来获取目标物的位置、速度、类型等信息。各类传感器获取的目标信息在传感器融合模块进行融合后输出目标的类型、位置、速度和航向角信息。

传感器融合模块

毫米波雷达

激光雷达

摄像头

其它环境感知传感器

目标位置、速度和航向角信息

输出

图1 路端环境感知系统典型结构图

4.2 气候模拟系统

气候模拟系统是封闭测试场用于模拟雨、雾、风、雪等特殊天气，辅助检测智能网联车辆在不同天气条件下的自动驾驶功能的设备。封闭测试场地中的气候模拟系统通常由雨雾模拟装置、冰雪模拟装置和强风模拟装置组成（如图2）。雨雾模拟装置通常通过喷淋装置模拟起雾和降雨，并可以通过控制喷淋水量来模拟小雨、中雨、大雨等不同强度降雨等级。冰雪模拟装置通过人工造雪或喷射泡沫的方式来模拟降雪，同样通过控制喷射雪花或泡沫的流量来模拟小雪、中雪和大雪等不同降雪等级。在一些气温条件适宜的地区，封闭测试场地也会配备路面结冰模拟装置。在封闭场地的特定测试道路上制造一定厚度的冰层，模拟冬季路面结冰。强风模拟装置可通过鼓风机等设备在封闭测试场地道路上产生一定风向和强度的风。

强风模拟

气候环境模拟系统

雨雾模拟

冰雪模拟

图2 路端气候环境模拟系统典型结构图

### 4.3 隧道模拟系统

隧道是公路交通的典型场景。隧道由于其半封闭的结构，在照明和卫星信号屏蔽方面有着不同于开放道路的特性。为了能在封闭测试场地尽可能真实地模拟隧道路况，需要对封闭测试场地中的长度有限的仿真隧道的照明和卫星信号屏蔽性能进行校准。隧道照明区段划分参见JTG/T D70/2-01-2014中3.0.5的规定。

* 1. 计量特性

5.1 路端环境感知系统目标探测能力

表1 路端环境感知系统目标探测能力

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 要求 |
| 现场位置误差 | 目标距离＜100 m时，经度距离误差≤1.00 m，纬度距离误差≤1.00 m |
| 100 m≤目标距离＜500 m时，  经度距离误差≤5.00 m，纬度距离误差≤5.00 m |
| 现场速度误差 | ＜100 km/h时， |
| ≥100 km/h时，MPE: |
| 现场航向角误差 | 目标距离＜100 m时，角误差≤1.0° |
| 100 m≤目标距离＜500 m时，角误差≤2.0° |

5.2 气候模拟系统计量特性

5.2.1降雨模拟系统

5.2.1.1平均降雨量

降雨量分为微量降雨（零星小雨）、小雨、中雨、大雨、暴雨、大暴雨、特大暴雨共7个等级。封闭测试场地中的降雨模拟中12小时或24小时降雨量需满足表2要求或符合系统设计指标。

5.2.1.2 降雨量均匀度

降雨均匀度应≥50%。

5.2.2 降雪模拟系统

5.2.2.1 平均降雪量

降雪量分为微量降雨（零星小雪）、小雪、中雪、大雪、暴雪、大暴雪、特大暴雪共7个等级。封闭测试场地中的降雪模拟系统的12小时或24小时降雪量及12小时积雪深度需满足表3所示或符合系统设计指标。

5.2.2.2 降雪量均匀度

降雪量均匀度应≥50%

表2 降雨模拟系统平均降雨量要求 [GB/T 28592-2012, 表1]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 等级 | 时段降雨量 mm | |
| 12 h降雨量 | 24 h降雨量 |
| 零星小雨 |  |  |
| 小雨 |  |  |
| 中雨 |  |  |
| 大雨 |  |  |
| 暴雨 |  |  |
| 大暴雨 |  |  |
| 特大暴雨 |  |  |

表3 降雪模拟系统平均降雪量要求 [GB/T 28592-2012, 表2]

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 等级 | 时段降雪量 / mm | | 积雪深度/mm |
| 12 h降雪量 | 24 h降雪量 | 12 h |
| 微量降雪（零星小雪） |  |  | 无积雪 |
| 小雪 |  |  |  |
| 中雪 |  |  |  |
| 大雪 |  |  |  |
| 暴雪 |  |  |  |
| 大暴雪 |  |  |  |
| 特大暴雪 |  |  |  |

#### 5.2.3 强风模拟系统

封闭测试场中的强风模拟系统产生的风力需满足表4所示或符合系统设计指标。

表4 风力的等级划分及要求 [GB/T 28591-2012，表1]

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 风力（级） | 风速/（m/s） | 风力/级 | 风速/（m/s） |
| 0 |  | 9 |  |
| 1 |  | 10 |  |
| 2 |  | 11 |  |
| 3 |  | 12 |  |

表4（续） 风力的等级划分及要求 [GB/T 28591-2012，表1]

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 风力（级） | 风速/（m/s） | 风力/（级） | 风速/（m/s） |
| 4 |  | 13 |  |
| 5 |  | 14 |  |
| 6 |  | 15 |  |
| 7 |  | 16 |  |
| 8 |  | 17 |  |

5.2.4 结冰路面摩擦系数

封闭测试场地中结冰路面的摩擦系数应满足模拟区域内平均摩擦系数。

5.3 隧道模拟系统计量特性

#### 5.3.1 隧道照明特性

封闭测试场地中的隧道路面平均亮度需满足表5要求，亮度均匀度需满足表6要求。

表5 隧道路面平均亮度要求

|  |  |
| --- | --- |
| 隧道内位置 | 路面平均亮度 |
| 入口段 | 测量值设计值的90% |
| 过渡段 | 测量值设计值的90% |
| 中间段 | 测量值设计值的90% |
| 出口段 | 测量值设计值的90% |
| 洞外引道 | 测量值设计值的90% |
| 应急照明 | 测量值设计值的90% |

表6 隧道内亮度均匀度要求

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 设计小时交通量  辆每小时每车道 | | 亮度总均匀度 |
| 单向交通 | 双向交通 |
|  |  |  |
|  |  | 按线性内插取值 |
|  |  |  |

#### 5.3.2 隧道卫星信号特性

封闭测试场地中的隧道内卫星信号强度需满足表7要求。

表7 隧道内卫星信号强度要求

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 信号频率/  (GHz) | 隧道位置 | | |
| 隧道内部距隧道出入口10 m | 隧道内部距隧道出入口50 m | 隧道中段 |
| 1.2 |  |  |  |
| 1.5 |  |  |  |

#### 5.3.3 隧道移动通信信号特性

封闭测试场地中的隧道内移动通信信号强度需满足表8要求。

表8 隧道内移动通信信号强度要求

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 信号频率/  (GHz) | 隧道位置 | | |
| 隧道内部信号加强 | 隧道内部距隧道出入口20 m | 隧道中段 |
| 0.89-0.95 | 无加强 |  | m |
| 有加强 |  |  |
| 1.7-2.7 | 无加强 |  |  |
| 有加强 |  |  |
| 3.4-3.6 | 无加强 |  |  |
| 有加强 |  |  |
| 4.8-4.9 | 无加强 |  |  |
| 有加强 |  |  |

* 1. 校准条件

6.1 被校设备文件资料要求

被校设备应提供校准所需基本的参数，如表9所示：

表9 被校设备需提供的基本参数要求

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 被校设备 | | 基本参数 |
| 路端环境感知系统 | | 环境感知传感器工作参数、安装位置、数据格式、数据更新频率 |
| 气候模拟系统 | 降雨 | 模拟道路长度、路面宽度、路面材料、设计降雨量 |
| 降雪 | 模拟道路长度、路面宽度、路面材料、设计降雪量 |
| 路面结冰 | 模拟道路长度、路面宽度、路面材料、结冰路面摩擦系数 |
| 强风 | 模拟道路长度、路面宽度、路面材料、风力设计值 |
| 隧道模拟系统 | | 隧道长度、路面宽度、机动车道宽度、路面材料、设计最高时速和小时交通量等，隧道内光源种类、功率、数量、生产厂、排列方式、安装高度、灯间距等 |

6.2 校准环境条件

#### 6.2.1 气候条件良好，无降雨、降雪、冰雹、扬尘、雾霾等恶劣天气情况

#### 6.2.2 温湿度、风力等要求参见表10。

表10 校准环境要求

|  |  |
| --- | --- |
| 影响量 | 参比值或范围 |
| 环境温度 | -20℃～50℃ |
| 环境湿度 | （10～95）％RH |
| 风力 | 低于2级 |
| 大气压 | （86～106）kPa |
| 外电磁场干扰 | 应避免 |

### 6.3 校准用设备

校准用设备如表11要求。

表11 校准设备及其要求

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 设备名称 | 技术指标 |
| 1 | 标准测速仪 | 测量范围：, MPE: ±0.3% |
| 2 | 高精度组合定位系统 | 位置精度：0.01 m，速度精度：0.03m/s，航向角精度：0.1° |
| 3 | 目标车 | 普通大批量生产的汽车，最高时速≥ 100 km/h |
| 4 | 雨量器和雨量量筒 | 测量范围：  示值允许误差：, |
| 5 | 风向风速计 | 测量范围：，精度： |
| 6 | 雪尺 | 测量范围∶; 分辨力：；  最大允许误差：; |
| 7 | 数字摆式仪或其它路面摩擦系数测量设备 | 测量精度>=±0.05%，重复精度>=±0.02% |
| 8 | 电子秒表 | 测量范围：1h，MPE：± 0.10s |
| 9 | 电子天平 | 测量范围：，准确度等级1级 |
| 10 | 温度计 | 测量范围：，分辨力，允差： |
| 11 | 标准亮度计 | 不低于I级   1. 相对示值误差绝对值：； 2. 匹配误差绝对值：； 3. 稳定度绝对值：； 4. 换挡误差绝对值：； 5. 非线性误差绝对值：。 |
| 12 | 频谱仪或其它频率及功率测试设备 | 测量范围：,测量误差≤ 3 dB |

* 1. 校准项目和方法

7.1 校准项目一览表

校准项目见表12。

可根据封闭测试场具体环境配置选择所需的校准项目。

表12 校准项目一览表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 校准项目名称 | | 类型 |
| 路端环境感知系统 | 工作正常性检查 | 功能检查 |
| 路端环境感知系统位置误差 | 量值校准 |
| 路端环境感知系统速度误差 | 量值校准 |
| 路端环境感知系统航向角度误差 | 量值校准 |
| 气候模拟系统 | 平均降雨量 | 量值校准 |
| 降雨均匀度 | 量值校准 |
| 结冰路面摩擦系数 | 量值校准 |

表12（续） 校准项目一览表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 校准项目名称 | | 类型 |
| 气候模拟系统 | 平均降雪量 | 量值校准 |
| 积雪深度 | 量值校准 |
| 降雪均匀度 | 量值校准 |
| 平均风力 | 量值校准 |
| 隧道模拟系统 | 隧道路面平均亮度 | 量值校准 |
| 隧道内亮度均匀度 | 量值校准 |
| 隧道内卫星信号强度 | 量值校准 |
| 隧道内移动通信信号强度 | 量值校准 |

7.2 路端环境感知系统校准方法

7.2.1 校准准备

（1）所有校准用设备均需按各自技术说明书规定的时间预热。作为标准器的高精度定位系统需按照说明书规定进行场地定位校准。校准前，应先对目标物的外观进行初步的检查，判断待检查目标物外观是否完好。

（2）被校准环境感知系统应能通过有线或无线方式正常读取带有时间戳的目标状态信息，并同时记录发送日志，数据更新频率应符合产品说明书规定。校准数据由读取的目标状态信息获得。

7.2.2外观及工作正常性检查

被校准环境感知系统不应有影响正常工作及读数的机械损伤，各项标识应清晰完整，输入输出插座应牢靠，按键及旋钮应能正常动作并接触良好。仪器通电后状态正常。达到规定预热时间后输出端有相应信号输出，各项功能检查正常。有自检功能的，应能通过自检。

7.2.3路端环境感知系统位置误差

7.2.3.1 位置误差校准点的选取

根据现场路端环境感知系统安装位置选择校准点，首次校准时在路端环境感知系统覆盖最大检测距离内选取至少5个位置点进行校准；非首次校准，在路端环境感知系统覆盖最大检测范围内选取至少3个位置点进行校准。若路端环境感知系统覆盖多个车道，需在每个车道取点。尽可能保证量程内的均匀性。也可根据实际情况或用户要求选取位置校准点。

7.2.3.2 位置误差校准方法

a）将装有高精度定位装置的试验目标车停在位置校准点，在高精度定位装置上读出该点目标车的经纬度，连续记录1分钟，分别求取经纬度的平均值记为（）。

b）利用被校环境感知系统采集试验目标车位置并记录。

c）每个位置校准点重复测量5次，以5次位置测量值的算术平均值作为测量结果，按公式（1）、（2）计算：

（1）

（2）

式中：

——经度读数平均值，度；

——纬度读数平均值，度；

——第i次测量得到的经度读数，度；

——第i次测量得到的纬度读数，度；

­­ ——重复测量次数。

d）纬度距离误差按公式（3）计算：

（3）

式中：

——试验车车载高精度定位装置的纬度读数，度；

——路端环境感知系统对目标车纬度的测量平均值，度；

——试验车车载高精度定位装置的纬度读数与路端环境感知系统对目标车纬度的测量平均值之间的差值对应的距离，米；

——地球短轴半径，取6356752米。

f）经度距离误差按公式（4）计算：

（4）

式中：

——试验车车载高精度定位装置的经度读数，度；

——路端环境感知系统对目标车经度的测量平均值，度；

——目标车车载高精度定位装置的经度读数与路端环境感知系统对目标车经度的测量平均值之间的差值对应的距离，米;

——试验车车载高精度定位装置的纬度读数，度；

——地球长轴半径，取6378137米。

7.2.4 路端环境感知系统速度误差

7.2.4.1 速度误差校准点的选取

选取被校环境感知系统安装区域限速值的20%、50%和100%作为校准点。也可按照用户要求选取速度校准点。

7.2.4.2 速度误差校准方法

a）装有标准测速仪的试验车以被检速度值匀速行驶，标准测速仪测量并显示试验车通过检测区域时的速度值。

b）同时路端环境感知系统对试验车进行速度测量。

c）对每个速度校准点同步连续读取10个标准测速仪输出的标准值及路端环境感知系统的速度测量值。

d）以标准测速仪10次速度标准值的算术平均值作为标准速度值，以路端环境感知系统10次速度测量值的算术平均值作为测量结果。

e）速度误差按公式（5）计算。

（5）

式中：

——速度误差，km/h；

——标准测速仪的标准速度值，km/h；

——路端环境感知系统的速度测量结果，km/h。

7.2.5 路端环境感知系统航向角误差

7.2.5.1 航向角误差校准点的选取

选取被校环境感知系统安装环境中常见的目标航向角作为校准点，如行驶于被校环境感知系统覆盖道路上的目标直行、变道等状态下的航向角。也可按照用户要求选取航向角校准点。

7.2.5.2 航向角误差校准方法

a）装有高精度组合定位系统的试验目标车沿被校航向角以（50±5）km/h速度匀速驶过路端环境感知系统的检测区域，高精度组合定位系统测量并显示试验目标车的航向角。

b）同时路端环境感知系统对试验目标车进行航向角测量。

c）对每个角度校准点同步连续读取5个高精度组合定位系统输出的标准值及路端环境感知系统的航向角测量值。

d）以高精度组合定位系统输出的5次航向角值的算术平均值作为标准航向角值，以路端环境感知系统5次航向角测量值的算术平均值作为测量结果。

e）航向角度误差按公式（6）计算。

（6）

式中：

——航向角误差，度；

——高精度组合定位系统的标准航向角值，度；

——路端环境感知系统航向角测量结果，度。

7.3 气候模拟系统校准方法

7.3.1 降雨模拟系统校准

7.3.1.1 校准准备

a）降雨模拟系统校准应在额定电压下进行。

b）降雨模拟系统校准应在无降水天气情况下进行。

c）所有校准用设备均需按各自技术说明书规定的时间预热。

d）校准设备应设置在平坦、避风场所。障碍物离校准设备的距离应大于障碍物与仪器承水口高度差的两倍。

7.3.1.2 校准设备安装

a）校准设备雨量器应安装在固定支架上，承水口保持水平，口沿离地面高度为70 cm。冬季积雪较深地区，应采用较高支架，保证器口沿距地面高度为1.0 m-1.2 m。

b）应保持雨量器清洁和漏斗畅通。外筒不应有漏水或刀刃口变形。

7.3.1.3 降雨量校准的布点方法

在道路纵向，在距降水区域边缘5m处开始，按两测点间距小于或等于20 m的原则确定测点数；在道路横向，在每条车道横向中心线上布点。

7.3.1.4 平均降雨量的校准方法

a）按7.3.1.3选取校准点放置雨量桶，降雨模拟系统开启相应档位，取样15分钟或根据客户需求确定取样时间。

b）记录各个校准点的降水量值，不足的降水量记为“”。当降雨较大可能造成溢出时，应增加观测次数。则该降雨模式下的平均降雨量按式（7）计算

（7）

式中：

——模拟区域内各测试点的平均降雨量，;

——测试点i上记录的降雨量，；

——时间系数，值可取12或24，当值取12时则计算12小时降雨量，值取24时则计算的是24小时降雨量；

——模拟区域内的测试点总数；

——测试时间长度，小时。

c）降雨模拟系统选取不同档位，重复步骤a）至b），计算不同档位下的平均降雨量。

7.3.1.5 降雨量均匀度的校准

a）采用克里斯琴森均匀系数评价。

克里斯琴森均匀系数表征了整个模拟区域内降雨量与平均值的偏差情况，按式（8）计算该降雨模式下在降雨模拟区域内的降雨量总均匀度：

（8）

式中：

——模拟区域降雨强度的克里斯琴森均匀系数;

——模拟区域内各测试点的平均降雨量，;

——测试点记录的降雨量，;

——模拟区域内的测试点总数。

b）采用分布均匀系数评价

当模拟区域内绝大多数测试点的降雨量与平均降雨量接近，个别测试点的降雨量与平均降雨量偏差交大时，可采用分布均匀系数评价，按式（9）计算。

（9）

式中：

——模拟区域内降雨量的分布均匀系数;

——模拟区域内各测试点的平均降雨量，;

——按照大小排列的各测试点降雨量低值的个测试点的降雨量均值，。

7.3.2 降雪模拟系统校准

7.3.2.1 校准准备

a）降雪模拟系统校准应在额定电压下进行。

b）降雪模拟系统校准应在无降水天气情况下进行。

c）所有校准用设备均需按各自技术说明书规定的时间预热。

7.3.2.2 校准设备的安装

a）校准设备雨量器应安装在固定支架上，承水口保持水平，口沿离地面高度为70 cm。冬季积雪较深地区，应采用较高支架，保证器口沿距地面高度为1.0 m-1.2 m。

b）应保持雨量器清洁和漏斗畅通。外筒不应有漏水或刀刃口变形。

7.3.2.3 校准的布点方法

在道路纵向，在距降雪区域边缘5 m处开始，按两测点间距小于或等于20 m的原则确定测点数；在道路横向，在每条车道横向中心线上布点。

7.3.2.4 平均降雪量的校准

a）按7.3.2.3选取校准点放置雨量桶，降雪模拟系统开启相应档位，取样15分钟或根据客户需求选取采样时间。

b）记录各个校准点的降雪量值，不足的降雪量记为“”。当降雪较大可能造成溢出时，应增加观测次数。则该降雪模式下的平均降雪量按式（10）计算

（10）

式中：

——模拟区域内各测试点的平均降雪量，;

——测试点i上记录的降雪量，；

——模拟区域内的测试点总数；

——时间系数，值可取12或24，当值取12时则计算12小时降雪量，值取24时则计算的是24小时降雪量；

——测试时间长度，小时。

c）降雪模拟系统选取不同档位，重复步骤a）至b），计算不同档位下的平均降雪量。

7.3.2.5 降雪均匀度的校准

a）采用克里斯琴森均匀系数评价。

克里斯琴森均匀系数表征了整个模拟区域内降雪分量与平均值的偏差情况，按式（11）计算该降雪模式下在降雪模拟区域内的降雪量总均匀度：

（11）

式中：

——模拟区域降雪强度的克里斯琴森均匀系数;

——模拟区域内各测试点的平均降雪量，;.

——测试点记录的降雪量，;

——模拟区域内的测试点总数。

b）采用分布均匀系数评价

当模拟区域内绝大多数测试点的降雪量与平均降雪量接近，个别测试点的降雪量与平均降雪量偏差较大时，可采用分布均匀系数评价，按式（12）计算。

（12）

式中：

——模拟区域内降雨量的分布均匀系数;

——模拟区域内各测试点的平均降雪量，;

——按照大小排列的各测试点降雪量低值的个测试点的降雪量均值，。

7.3.2.6 平均积雪深度的校准

a）降雪模拟系统开启相应档位，取样15分钟或按客户需求确定采样时间，按7.3.2.3选取校准点利用雪尺测量积雪深度。

b）记录各个校准点的积雪深度，则该降雪模式下的平均积雪深度按式（13）计算

（13）

式中：

——模拟区域内各测试点的平均积雪深度，;

——测试点i上记录的积雪深度，；

——模拟区域内的测试点总数。

7.3.2.7 积雪深度均匀度的校准

a）采用克里斯琴森均匀系数评价。

克里斯琴森均匀系数表征了整个模拟区域内积雪深度分量与平均值的偏差情况，按式（14）计算该降雪模式下在降雪模拟区域内的积雪深度总均匀度：

（14）

式中：

——模拟区域积雪深度的克里斯琴森均匀系数;

——模拟区域内各测试点的平均积雪深度，;

——测试点记录的积雪深度，;

——模拟区域内的测试点总数。

b）采用分布均匀系数评价

当模拟区域内绝大多数测试点的降雪量与平均降雪量接近，个别测试点的降雪量与平均降雪量偏差交大时，可采用分布均匀系数评价，按式（15）计算。

（15）

式中：

——模拟区域积雪深度的分布均匀系数;

——模拟区域内各测试点的平均积雪深度，;

——按照大小排列的各测试点积雪深度低值的个测试点的积雪深度均值，。

7.3.3 强风模拟系统校准

7.3.3.1 准备条件

a）正式测试开始前，确认校准设备都经过校准。

b）所有校准用设备均需按各自技术说明书规定的时间预热。

7.3.3.2 校准的布点方法

在道路纵向，在距强风模拟区域中心开始至区域边缘5m处，按两测点间距小于或等于20 m的原则确定测点数；在道路横向，在每条车道横向中心线上布点。

7.3.3.3 平均风速的校准方法

a）按7.3.3.2选取测试点，强风模拟系统开启相应档位，使用风向风速仪进行测试。测量时将仪器带到空旷处，松开方位盘制动小套，将风向风速表固定于1.5 m高度，保持风向风速表垂直，使方位盘按地磁子午线的方向稳定下来，风速表刻度盘与当时风向平行。

b）待风杯转动30 s后，按下风速按钮（计时机构运转过程中不应再按下该按钮），启动仪器；待风速指针自动停转后，读出风速示值。若风速计配有订正曲线，需根据风速示值在订正曲线上查出实际风速。

c）记录强风模拟区内各点的风速，按式（16）计算该强风模拟模式下模拟区域内的平均风速

（16）

式中：

——模拟区内的平均风速，;

——模拟区域内各点的风速，；

——测量点数。

#### 7.3.4 路面结冰模拟系统校准方法

7.3.4.1 准备条件

a）正式测试开始前，确认校准设备都经过校准，结冰模拟系统提前开启至直到路面结冰完成。

b）所有校准用设备均需按各自技术说明书规定的时间预热。

c）清洁路面，用扫帚或其它工具将测点处路面上的浮尘或附着物打扫干净。

d）将仪器置于路面测点上，并使摆的摆动方向与行车方向一致。转动底座上的调平螺栓，使水准泡居中。

e）标定仪器零位。

7.3.4.2 校准的布点方法

在道路纵向，在距结冰区域边缘5m处开始，按两测点间距小于或等于20 m的原则确定测点数；在道路横向，在每条车道横向中心线上布点。

7.3.4.3 路面平均摩擦系数的校准方法

a）按7.3.4.2选取测试点，使用数字式摆式仪等路面摩擦系数测定设备对每个测试点进行5次测量，5次测量的平均值作为该点的摆值（BPNT）。

b）在测点处用温度计测记路表温度，根据表13中的规定进行温度修正，中间温度的修正值可采用内插法换算，依据式（17）得到该点在的摆值BPNi。若所使用的设备可自动进行温度修正，则可忽略此步。

（17）

式中：

——路面温度为T（）时模拟区内某点的摆值;

——模拟区域内某点换算成标准温度的摆值；

——温度修正值按表13采用。

c）记录结冰模拟区内各点的摆值，按式（18）计算结冰模拟区域内的平均摩擦系数

（18）

式中：

——模拟区内的平均摩擦系数;

——模拟区域内各点的路面抗滑值；

——测量点数。

表13 BPN温度修正表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 温度() | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 |
| 温度修正值 | -6 | -4 | -3 | -1 | 0 | +2 | +3 | +5 | +7 |

7.4 隧道模拟系统校准方法

#### 7.4.1 隧道照明校准方法

7.4.1.1 准备条件

a）现场照明校准时，应在下列时间后进行：

— 白炽灯和卤钨灯应点燃15 min；

— 气体放电灯类光源应点燃40 min。

b）照明校准应在额定电压下进行。在校准时应检测电源电压，若实测电压偏差超过相关规定标准规定的范围，应对测量结果做相应的修正。

c）现场照明测量应在清洁和干燥的路面或场地上进行，不宜在明月和校准场地有积水或积雪时进行。

d）应排除杂散光射入光接收器，并应防止各类人员和物体低光接收器造成遮挡。

e）所有校准用设备均需按各自技术说明书规定的时间预热。

7.4.1.2 外观及工作正常性检查

隧道内外照明应正常工作，不存在明显的灯光闪动。

7.4.1.3 校准的路段和范围

a）校准路段的选择

在隧道的入口段、过渡段、中间段、出口段和洞外引道不同亮度要求区各取至少1个校准路段进行测量。 应从灯具的间距、高度、悬挑、仰角等的安装规整性及光源的一致性等方面选择有代表性的路段。

b）校准路段范围

在道路纵向应为从一盏灯起100 m 距离以内的区域，至少应包括同一侧两盏灯之间的区域；对于交错布灯，应为观测方左侧灯下开始的两盏之间区域。在道路横向应为整条路宽。

7.4.1.4 亮度校准的布点方法

若仅用积分亮度计测量路面平均亮度时，则无需布点，若用亮度计测量各校准点亮度时，则应布点。

a）在道路纵向，当同一侧两灯间距小于或等于50 m时，通常应在两灯间按等距布置10个测试点；当两灯间距大于50 m时，应按两测点间距小于或等于5 m的原则确定测点数；在道路横向，在每条车道横向应布置5个测点，其中间一点应位于车道的中心线上，两侧最外面的两个点应分别位于距每条车道两侧边界线的车道宽处。

b）当亮度均匀度较好或对测量的准确度要求较低时，在每条车道横向可布置3个点，其中间一点应位于每条车道中心线上，两侧的两个点应分别位于距每条车道两侧边界线的车道宽处。

c）亮度计的观测点的高度应距路面1.5 m。

d）道路路面布点法可分为四角布点法（如图3所示）和中心布点法（如图4所示）。四角布点法的测点应布置在网格的四角，测量网格四角点上的亮度。中心布点法测点应布置在每个网格的中心点，测量网格中心点上的照度。

e）亮度计的观测点的横向位置，对于平均亮度和亮度总均匀度的测量，应位于观测方向路右侧路缘内测四分之一路宽处（如图5）所示。对于亮度纵向均匀度的测量，应位于每条车道的中心线上。

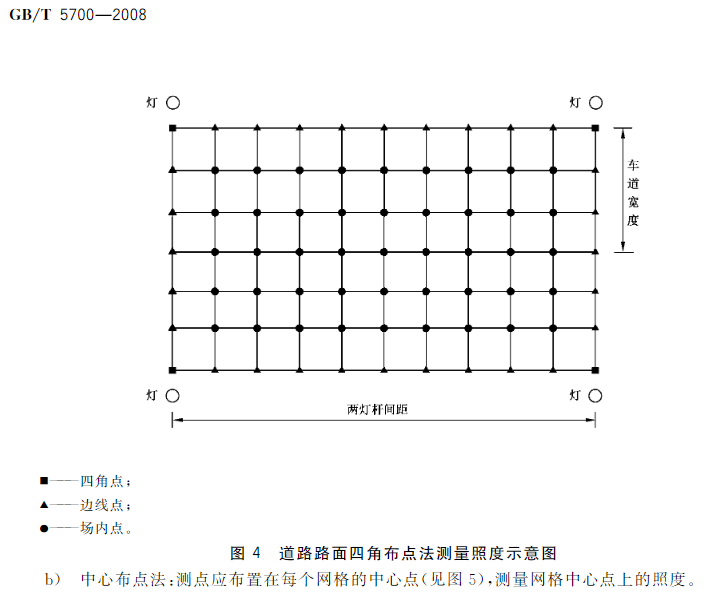


图3 道路路面四角布点法测量亮度示意图

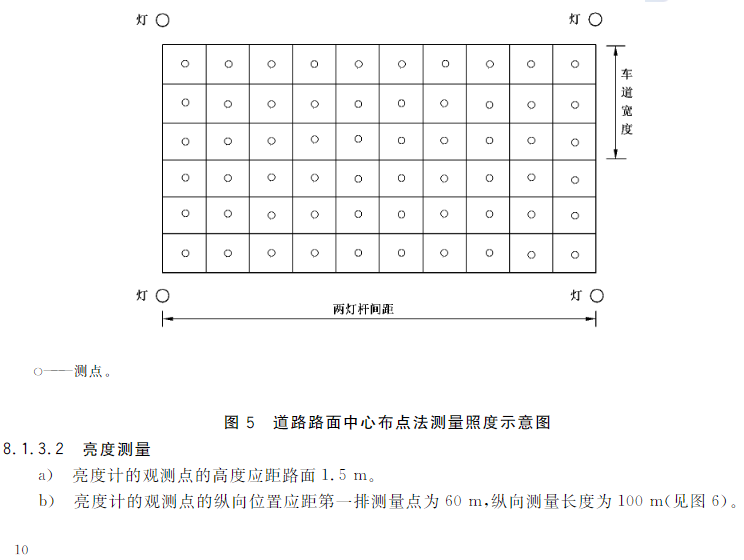
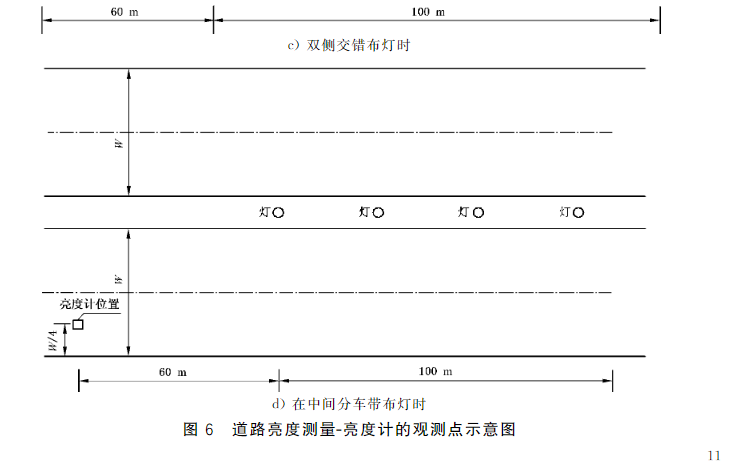
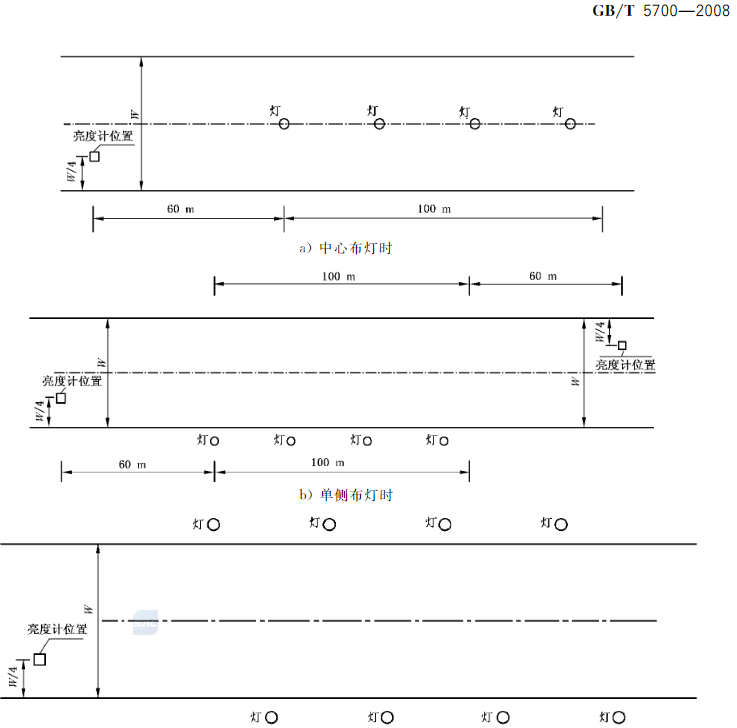


图4 道路路面中心布点法测量亮度示意图

图5 道路路面亮度测量取点示意图



7.4.1.5 隧道平均亮度校准方法

7.4.1.5.1 积分亮度计法

按7.4.1.4选取校准路段，记录校准路段灯下测出的平均亮度，移动亮度计至两灯中间，记录两灯中间点的平均亮度，该路段平均亮度按式（19）计算

（19）

式中：

——平均亮度，;

——从灯下开始测出的平均亮度，；

——从两灯中间点开始测出的平均亮度，。

7.4.1.5.2 亮度计逐点测量法

按7.4.1.4选取校准路段和测量点，记录下每个测量点的亮度，每个测量点测试3次，取平均值为该测试点亮度。按式（20）计算该路段的平均亮度

（20）

式中：

——平均亮度，;

——各测点的亮度，；

——测量点数。

7.4.1.6 隧道亮度总均匀度校准方法

按式（21）计算该路段的亮度总均匀度：

（21）

式中：

——亮度总均匀度;

——从规则分布测点上测出的最小亮度，;

——按式（21）计算得到的平均亮度，。

#### 7.4.2 卫星信号强度校准方法

7.4.2.1 校准准备

a）正式测试开始前，确认校准设备都经过校准。

b）所有校准用设备均需按各自技术说明书规定的时间预热。

7.4.2.3校准路段和范围

a）校准路段的选择

在隧道内部距离出入口10m、50m及100m的道路和洞外引道各取至少1个长度为20米的校准路段进行测量。

b）校准路段的范围

要求测量路段上的测量点数不少于5个/100 m，测量路段内的所有车道均需设置测量点，测量点可选取在每条车道中心线上。校准仪器探头（天线）距地面（或立足平面）约1.7 m进行测量。 也可根据不同目的，选取校准高度，并在校准证书中注明。

c）在校准测量时，探头（天线）与操作人员躯干之间距离不小于0.5 m，并避免或尽量减少周边偶发的其他电磁辐射源的干扰。每个校准点至少连续测5次，每次校准测量时间不少于15秒，并读取稳定状态下的最大值。若读数起伏较大时，适当延长监测时间。当监测仪器为自动测量系统时，应设置于均方根值检波方式，每次校准测量时间不少于6分钟，数据采集取样率不小于1次/秒。读取校准仪器得平均值。

d）在每个校准点需对本规范要求的各个频段逐一进行校准测量。

7.4.2.4 卫星信号平均强度

按7.4.2.2选取测试路段，记录某一频率该路段的各点的信号强度，按式（22）计算该路段该信道的平均功率密度

（22）

式中：

——信道的平均功率，;

——各测点的信道功率，；

——测量点数。

#### 7.4.3 蜂窝移动通信信号质量校准方法

7.4.3.1 准备条件

a）正式测试开始前，确认校准设备都经过校准。

b）所有校准用设备均需按各自技术说明书规定的时间预热。

7.4.3.2 校准路段和范围

a）校准路段的选择

在隧道的入口段、过渡段、中间段、出口段和洞外引道各取至少1个校准路段进行测量。

b）校准路段的范围

要求测量路段上的测量点数不少于5个/100 m。校准仪器探头（天线）距地面（或立足平面）约1.7 m进行测量。 也可根据不同目的，选取校准高度，并在监测报告中注明。

c）在校准测量时，探头（天线）与操作人员躯干之间距离不小于0.5 m，并避免或尽量减少周边偶发的其他电磁辐射源的干扰。每个校准点至少连续测5次，每次校准测量时间不少于15秒，并读取稳定状态下的最大值。若读数起伏较大时，适当延长监测时间。当监测仪器为自动测量系统时，应设置于均方根值检波方式，每次校准测量时间不少于6分钟，数据采集取样率不小于1次/秒。读取校准仪器得平均值。

d）在每个校准点需对覆盖该区域的蜂窝移动通信信号频段逐一进行校准测量。

7.4.3.3 蜂窝移动通信信号校准的布点方法

在道路横向，每条车道应至少选取一个点，推荐选取车道中心线位置取点。

7.4.3.4 蜂窝移动通信信号平均强度

按7.4.3.2选取测试路段，记录某一通信信道下该路段的各点的信号强度，按式 （23）计算该路段该信道的平均功率密度

（23）

式中：

——信道的平均功率，m;

——各测点的信道功率，m；

——测量点数。

* 1. 校准结果表达

对经校准的设备出具校准证书，校准证书至少应包括以下信息：

a. 标题：“校准证书”；

b. 实验室名称和地址；

c. 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；

d. 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；

e. 客户的名称和地址；

f. 被校对象的描述和明确标识；

g. 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期；

h. 如果与校准结果的有效性应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；

i. 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；

j. 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；

k. 校准环境的描述；

l. 校准结果及其测量不确定度的说明；

m. 对校准规范的偏离的说明；

n. 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识；

o. 校准结果仅对被校对象有效的声明；

p. 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明；

* 1. 复校时间间隔

复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸多因素所决定的，因此，送校单位可根据实际情况自主决定复校时间间隔。为确保智能网联汽车封闭场地在其规定的技术性能下使用，建议校准周期最长不超过1年。

附录A

智能网联汽车封闭测试场地校准原始记录格式

A.1 观察项目记录

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 安装位置 | 传感器 | | | 备注 |
| 类型  (毫米波雷达/激光雷达/摄像头) | 型号 | 产家 |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

以下附传感器安装地图，标注传感器安装位置

A.2 路端环境感知系统位置误差试验记录

试验的数据记录： 试验日期： 年 月 日

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 目标车位置 | | 路端环境感知系统读数 | |  |  |
| 度 | 度 | 度 | 度 |
| 1 |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |
| 4 |  |  |  |  |  |  |
| 5 |  |  |  |  |  |  |
| 6 |  |  |  |  |  |  |
| 7 |  |  |  |  |  |  |
| 8 |  |  |  |  |  |  |
| 9 |  |  |  |  |  |  |
| 10 |  |  |  |  |  |  |

注：相关电子数据需保存

试验过程中的异常情况记录：

所用计量器具的名称： 型号： 编号：

环境温度： 相对湿度： 大气压力：

评价人员：

A.3 路端环境感知系统速度误差试验记录

试验的数据记录： 试验日期： 年 月 日

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 校准速度 | 测速读数 | | | | | 均值 |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| ： | | | | | | | |

注：相关电子数据需保存

试验过程中的异常情况记录：

所用计量器具的名称： 型号： 编号：

环境温度： 相对湿度： 大气压力：

评价人员：

A.4 路端环境感知系统航向角误差试验记录

试验的数据记录： 试验日期： 年 月 日

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 校准角度 | 测角读数 | | | | | 均值 |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| ： | | | | | | | |

注：相关电子数据需保存

试验过程中的异常情况记录：

所用计量器具的名称： 型号： 编号：

环境温度： 相对湿度： 大气压力：

评价人员：

A.5 气候模拟系统平均降雨量试验记录

降雨模拟道路长度： 降雨模拟道路宽度：

试验的数据记录： 试验日期： 年 月 日

降水量（mm）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 测点位置 | 降雨等级 | 降雨等级 | 降雨等级 | 降雨等级 |
| 1 |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |
| 4 |  |  |  |  |
| 5 |  |  |  |  |
| 6 |  |  |  |  |

附降雨模拟区域校准点位置图

试验过程中的异常情况记录：

所用计量器具的名称： 型号： 编号：

环境温度： 相对湿度： 大气压力：

评价人员：

A.6 气候模拟系统平均降雪量试验记录

降雪模拟道路长度： 降雪模拟道路宽度：

试验的数据记录： 试验日期： 年 月 日

降雪量（mm）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 测点位置 | 降雪等级 | 降雪等级 | 降雪等级 | 降雪等级 |
| 1 |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |
| 4 |  |  |  |  |

积雪厚度 （mm）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 测点位置 | 降雪等级 | 降雪等级 | 降雪等级 | 降雪等级 |
| 1 |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |
| 4 |  |  |  |  |

附降雪模拟区域校准点位置图

试验过程中的异常情况记录：

所用计量器具的名称： 型号： 编号：

环境温度： 相对湿度： 大气压力：

评价人员：

A.7 气候模拟系统风速试验记录

强风模拟道路长度： 强风模拟道路宽度：

试验的数据记录： 试验日期： 年 月 日

风速（m/s）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 测点位置 | 风力等级 | 风力等级 | 风力等级 | 风力等级 |
| 1 |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |
| 4 |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

附强风模拟区域校准点位置图

试验过程中的异常情况记录：

所用计量器具的名称： 型号： 编号：

环境温度： 相对湿度： 大气压力：

评价人员：

A.8 气候模拟系统结冰路面摩擦系数试验记录

结冰模拟道路长度： 结冰模拟道路宽度：

试验的数据记录： 试验日期： 年 月 日

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 测点位置 | BPN | 测点位置 | BPN |
| 1 |  | 6 |  |
| 2 |  | 7 |  |
| 3 |  | 8 |  |
| 4 |  | 9 |  |
| 5 |  | 10 |  |
|  |  | | |

附强风模拟区域校准点位置图

试验过程中的异常情况记录：

所用计量器具的名称： 型号： 编号：

环境温度： 相对湿度： 大气压力：

评价人员：

A.9 隧道模拟系统平均亮度试验记录

隧道长度： 隧道宽度： 设计交通量：

灯具安装方式：单侧布灯，双侧交错布灯，中心布灯，中间分车带布灯

灯具安装间距：

试验的数据记录： 试验日期： 年 月 日

积分亮度计

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 隧道位置 | 车道 | 亮度设计值/ | 亮度计读数 | 亮度计读数 | 亮度平均值 |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

亮度计取点法

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 隧道位置 | 车道 | 亮度设计值 | 亮度计读数 | | | | | | | | | | 亮度平均值 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

试验过程中的异常情况记录：

所用计量器具的名称： 型号： 编号：

环境温度： 相对湿度： 大气压力：

评价人员：

A.10 隧道模拟系统卫星信号强度试验记录

隧道长度： 隧道宽度：

试验的数据记录： 试验日期： 年 月 日

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 隧道位置 | 车道 | 卫星信号频率 | 卫星信号功率 | | | 卫星信号平均功率 |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |

试验过程中的异常情况记录：

所用计量器具的名称： 型号： 编号：

环境温度： 相对湿度： 大气压力：

评价人员：

A.11 隧道模拟系统移动通信信号强度试验记录

隧道长度： 隧道宽度：

试验的数据记录： 试验日期： 年 月 日

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 隧道位置 | 车道 | 移动信号频率 | 蜂窝移动信号功率 | | | 蜂窝移动信号平均功率 |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |

试验过程中的异常情况记录：

所用计量器具的名称： 型号： 编号：

环境温度： 相对湿度： 大气压力：

评价人员：

附录B

校准证书（内页）内容

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 路端环境感知系统 | | | | | | | | |
| 项目 | | | | 示值误差 | | | | 单位 |
| 位置误差 （目标距离＜100 m）纬度 | | | |  | | | | m |
| 位置误差 （目标距离＜100 m）经度 | | | |  | | | | m |
| 位置误差 （100 m≤目标距离＜500 m）纬度 | | | |  | | | | m |
| 位置误差 （100 m≤目标距离＜500 m）经度 | | | |  | | | | m |
| 速度误差 （速度范围＜100 km/h） | | | |  | | | | km/h |
| 速度误差 （速度范围≥100 km/h） | | | |  | | | | % |
| 航向角误差（目标距离＜100 m） | | | |  | | | | ° |
| 航向角误差（100 m≤目标距离＜500 m） | | | |  | | | | ° |
| 气候模拟系统 | | | | | | | | |
| 项目 | 设计值 | | 测试值 | | | 均匀度 | | 单位 |
| 平均降雨量 |  | |  | | |  | | mm |
| 平均降雪量 |  | |  | | |  | | mm |
| 平均风速 |  | |  | | | - | | % |
| 结冰路面摩擦系数 |  | |  | | | - | | % |
| 隧道模拟系统 | | | | | | | | |
| 平均亮度 | 路段 | 设计值 | | | 测试值 | | 单位 | 达标 |
|  |  |  | | |  | |  |  |
| 卫星信号强度 | 路段 | 设计值 | | | 测试值 | | 单位 | 达标 |
|  |  |  | | |  | |  |  |
| 移动通信信号强度 | 路段 | 设计值 | | | 测试值 | | 单位 | 达标 |
|  |  |  | | |  | |  |  |

附录C

**路端环境感知系统位置误差的不确定度分析**

C.1 测量方法

路端环境感知系统安装在封闭测试场地的路端，如路口龙门架或路侧立柱。路端环境感知系统通常由路端毫米波雷达、路端激光雷达和路端摄像头组成，通过发射无线电波或红外线并接收由目标物反射的无线电波和红外线来探测目标。路端环境感知系统输出三种观测值：目标位置、目标速度和目标航向角。

将装有高精度定位系统的目标物，停放在路端环境感知系统探测区域内选取的校准点，记录高精度定位系统测得的目标物的位置，表达为经纬度信息。同时记录路端环境感知系统测得的目标物位置，同样表达为经纬度。比较二者，以确定路端环境感知系统位置测量结果的正确性。

C.2 数学模型

C.2.1 纬度距离误差

（C1.1）

式中：

——目标车车载高精度定位装置的纬度读数，度；

——路端环境感知系统对目标车纬度的测量平均值，度；

——试验车车载高精度定位装置的纬度读数与路端环境感知系统对目标车纬度的测量平均值之间的差值所对应的距离，米；

——地球短轴半径，取6356752米。

其中、之间相互独立，则可以得到其灵敏系数和方差分别为：

（C1.2）

（C1.3）

（C1.4）

C.2.2 经度距离误差

（C1.5）

式中：

——目标车车载高精度定位装置的经度读数，度；

——路端环境感知系统对目标车经度的测量平均值，度；

——试验车车载高精度定位装置的纬度读数，度；

——目标车车载高精度定位装置的经度读数与路端环境感知系统对目标车经度的测量平均值之间的差值所对应的距离，米;

——地球长轴轴半径，取6378137米。

其中、之间相互独立，则可以得到其灵敏系数和方差分别为：

（C1.6）

（C1.7）

（C1.8）

（C1.9）

C.3 标准不确定分量的来源与评定

C.3.1 纬度距离误差的标准不确定分量来源与评定

C.3.1.1 纬度示值引入的标准不确定度

被校路端环境感知系统纬度示值的不确定度主要是测量重复性引起的标准不确定度。测量结果重复性可以通过连续测量得到的测量列，采用A类方法进行评定。

在被校路端环境感知系统及目标车上高精度定位装置正常工况条件下，目标车上高精度定位装置显示纬度31.2822513197°为校准点；被校路端环境感知系统对校准点重复测量5次，得数据（度）如表C.1所示。

表C.1被校路端环境感知系统输出目标纬度值 （度）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 31.2822526 | 31.2822534 | 31.2822530 | 31.2822532 | 31.2822532 |

单次实验标准差为

C.3.1.2 标准器引入的标准不确定度评定

输入量不确定度由校准装置引入，作为标准器的高精定位系统的纬度定位误差为。按均匀分布计，引入的标准不确定度为

C.3.1.3 输出量的标准不确定度分量一览表

表C.2 输出量的的标准不确定度分量一览表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 输人量估计值的标准不确定度评定 | | | 输出量估计值的标准不确定度分量 | |
| 来源 | 符号 | 数值 | 灵敏系数 |  |
| 1 | 纬度测量分量 |  |  |  |  |
| 2 | 校准装置分量 |  |  |  |  |

C.3.1.4 合成标准不确定度的评定

由于各标准不确定度分量互不相关，故合成标准不确定度为

m

C.3.1.5 扩展不确定度的评定

取，则

取一位有效数字，则

C.3.1.6测量不确定度的报告

由上述分析得到路端环境感知系统的纬度距离误差的不确定度为：

。

C.3.2经度距离误差的标准不确定分量来源与评定

C.3.2.1 经度示值引入的标准不确定度

被校路端环境感知系统经度示值的不确定度主要是测量重复性引起的标准不确定度。测量结果重复性可以通过连续测量得到的测量列，采用A类方法进行评定。

在被校路端环境感知系统及目标车上高精度定位装置正常工况条件下，目标车上高精度定位装置显示经度121.180344063055°为校准点；被校路端环境感知系统对校准点重复测量5次，得数据（度）如表C.3所示。

表C.3路端环境感知系统输出目标经度值 （度）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 121.1803313 | 121.1803316 | 121.1803318 | 121.1803316 | 121.1803321 |

单次实验标准差为

C.3.2.2 标准器引入的标准不确定度评定

输入量不确定度由校准装置引入，作为标准器的高精定位系统的经度定位误差为。按均匀分布计，引入的标准不确定度为

C.3.2.3 标准器引入的标准不确定度评定

输入量不确定度由校准装置引入，作为标准器的高精定位系统的纬度定位误差为。按均匀分布计，引入的标准不确定度为

C.3.2.4 输出量的标准不确定度分量一览表

表C.4 输出量的的标准不确定度分量一览表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 输人量估计值的标准不确定度评定 | | | 输出量估计值的标准不确定度分量 | |
| 来源 | 符号 | 数值 | 灵敏系数 |  |
| 1 | 纬度测量分量 |  |  |  |  |
| 2 | 校准装置分量 |  |  |  |  |
| 3 | 校准装置分量 |  |  | 0.71543997 |  |

C.3.2.5 合成标准不确定度的评定

由于各标准不确定度分量互不相关，故合成标准不确定度为

C.3.2.6 扩展不确定度的评定

取，则

取一位有效数字，则

C.3.2.7测量不确定度的报告

由上述分析得到路端环境感知系统的纬度距离误差的不确定度分别为：

。

附录D

**路端环境感知系统测速误差的不确定度分析**

D.1 测量方法

路端环境感知系统安装在封闭测试场地的路端，如路口龙门架或路侧立柱。路端环境感知系统通常由路端毫米波雷达、路端激光雷达和路端摄像头组成，通过发射无线电波或红外线并接收由目标物反射的无线电波和红外线来探测目标。路端环境感知系统输出三种观测值：目标位置、目标速度和目标航向角。

将标准测速仪安装在目标物上，匀速行驶过路端环境感知系统的探测区域，记录并比较标准测速仪测得的车速和路端环境感知系统测得的车速，以确定路端环境感知系统速度测量结果的正确性。

D.2 数学模型

现场测速误差

（D1.1）

式中：——被校速度示值误差；

——被校路端环境感知系统的速度示值平均值，（km/h）；

——校准装置速度示值，（km/h）。

其中、之间相互独立，则可以得到其灵敏系数和方差分别为：

（D 1.2）

（D 1.3）

（D 1.4）

D.3 输入量的不确定度的评定

D.3.1 输入量的标准不确定度的评定

输入量估计值的不确定度主要来源于路端环境感知系统的测量重复性。测量结果重复性可以通过连续测量得到的测量列，采用A类方法进行评定。

在被校路端环境感知系统及校准装置正常工况条件下，校准装置显示60 km/h为校准点；被校路端环境感知系统对校准点重复测量10次，得数据如表D.1所示。

表D.1 被校路端环境感知系统60km/h校准点测量结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| *v /*（km/h） | 60.00 | 60.12 | 60.02 | 59.98 | 59.98 | 60.03 | 60.11 | 60.01 | 59.99 | 59.98 |

单次实验标准差为

D.3.2 输入量的标准不确定度评定

输入量不确定度由校准装置引入，根据规范规定，校准装置在检测速度大于10 km/h时的速度示值误差为，在速度时的误差为。按均匀分布计，引入的标准不确定度为

D.4 输出量的标准不确定度分量一览表

表D.2 输出量的的标准不确定度分量一览表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 输人量估计值的标准不确定度评定 | | | 输出量估计值的标准不确定度分量 | |
| 来源 | 符号 | 数值 | 灵敏系数 |  |
| 1 | 速度示值不准确 |  |  |  | 0.0029 |
| 2 | 校准装置准确度 |  |  |  | 0.069 |

D.5 合成标准不确定度的评定

由于各标准不确定度分量互不相关，故合成标准不确定度为

D.6 扩展不确定度的评定

取，则

取一位有效数字，则

D.7测量不确定度的报告

由上述分析得到路端环境感知系统速度测量值的不确定度分别为：。

附录E

**路端环境感知系统测航向角误差的不确定度分析**

E.1 测量方法

路端环境感知系统安装在封闭测试场地的路端，如路口龙门架或路侧立柱。路端环境感知系统通常由路端毫米波雷达、路端激光雷达和路端摄像头组成，通过发射无线电波或红外线并接收由目标物反射的无线电波和红外线来探测目标。路端环境感知系统输出三种观测值：目标位置、目标速度和目标航向角。

将高精度定位系统安装在目标物上，匀速行驶过路端环境感知系统的探测区域，记录并比较高精度定位系统测得的目标物航向角和路端环境感知系统测得的航向角，以确定路端环境感知系统航向角测量结果的正确性。

E.2 数学模型

现场测航向角误差

（E1.1）

式中：

——被校角度示值误差,(°)；

——被校路端环境感知系统的10次航向角度示值平均值，（°）；

——高精度定位系统航向角度示值，（°）。

其中、之间相互独立，则可以得到其灵敏系数和方差分别为：

（E 1.2）

（E 1.3）

（E 1.4）

E.3 输入量的不确定度的评定

E.3.1 输入量的标准不确定度的评定

输入量估计值的不确定度主要来源于路端环境感知系统的测量重复性。测量结果重复性可以通过连续测量得到的测量列，采用A类方法进行评定。

在被校路端环境感知系统及校准装置正常工况条件下，校准装置显示5.0°为校准点；被校路端环境感知系统对校准点重复测量10次，得数据如表E.1所示。

表E.1 被校路端环境感知系统5.0°校准点测量结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| *A /* 度 | 4.9 | 5.5 | 5.6 | 5.3 | 4.8 | 4.9 | 5.2 | 5.2 | 5.5 | 5.5 |

单次实验标准差为

E.3.2 输入量的标准不确定度评定

输入量不确定度由校准装置引入，校准装置的航向角误差为。按均匀分布计，引入的标准不确定度为

E.4 输出量的标准不确定度分量一览表

表E.2 输出量的的标准不确定度分量一览表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 输人量估计值的标准不确定度评定 | | | 输出量估计值的标准不确定度分量 | |
| 来源 | 符号 | 数值 | 灵敏系数 |  |
| 1 | 速度示值不准确 |  |  |  | 0.29 |
| 2 | 校准装置准确度 |  |  |  | -0.058 |

E.5 合成标准不确定度的评定

由于各标准不确定度分量互不相关，故合成标准不确定度为

E.6 扩展不确定度的评定

取，则

取三位有效数字，则

E.7测量不确定度的报告

由上述分析得到路端环境感知系统航向角度测量值的不确定度分别为：。

附录F

**气候模拟系统平均降雨量测量的不确定度分析**

F.1 测量方法

降雨模拟路段平均降雨量主要采用雨量桶对降雨模拟路段进行测量。在降雨模拟路段，相隔一定的距离取点，测试一定时间内每个测点位置的降雨量，求得降雨量平均值、降雨量均匀度，并与设计值进行比较，验证平均降雨强度符合要求。

F.2 平均降雨量的数学模型

（F.1）

式中：

——模拟区域内各测试点的平均降雨量，;

——测试点i上记录的降雨量，；

——时间系数，值可取12或24，当值取12时则计算12小时降雨量，值取24时则计算的是24小时降雨量；

——模拟区域内的测试点总数；

——测试时间长度，小时。

F.3 灵敏系数和方差

以，，，为例分析不确定度。

各输入量的灵敏系数可以写为：

(F.2)

(F.3)

各输入量彼此独立，根据不确定度传播定律，可以得到方差:

(F.4)

F.4 输入量的不确定度评定

F.4.1输入量的不确定度评定

输入量的不确定度主要来源于雨量桶的测量重复性和示值量化误差。

F.4.1.1 雨量桶测量重复性的标准不确定度评定

测量重复性可以通过连续测量得到的测量列，采用A类方法进行评定。

以雨量桶内收集到的雨量为10 mm为例，进行10次独立、等精度测量，得到数据如下表所示：

表F.1 10 mm校准点雨量测量数据表 （mm）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 10.1 | 10.2 | 11.0 | 10.5 | 10.2 | 10.3 | 11.2 | 10.2 | 10.3 | 10.2 |

得到单次测量的实验标准差为

0.377 mm

实际测量中，进行1次测量，其标准不确定度分量为：

=0.377 mm

F.4.1.2 雨量桶的示值量化误差的标准不确定度评定

假设在降雨模拟路段采集的降雨量为10mm，则示值误差为，其量化误差属于均匀分布，采用B类方法进行评定，，其引入的标准不确定度分量为

由于重复性分量包含示值量化误差的标准不确定度分量，为避免重复计算，只取最大影响。因在本次测量中，重复性引入的不确定度大于示值量化误差引入的不确定度，故只考虑重复性引入的不确定度，舍弃。

F.4.2 输入量的不确定度评定

输入量的不确定度由计时秒表引入，秒表的最大允许误差为，服从均匀分布，采用B类方法进行评定：

F.5 输出量的标准不确定度分量

表F.2 输出量的的标准不确定度分量一览表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 输入量估计值的标准不确定度评定 | | | 输入量估计值的标准不确定度评定 | |
|  | 来源 | 符号 | 数值 | 灵敏度系数 |  |
| 1 | 雨量桶重复测量 |  | 0.377 mm |  | 0.819 |
| 2 | 时间测量误差 |  |  |  | 5.898 |

F.6 合成标准不确定度的计算

由于各标准不确定度分量独立不相关，故合成标准不确定度为

F.7 扩展不确定度的评定

取，则

取一位有效数字，则

F.8测量不确定度的报告

由上述分析得到降雨模拟平均降雨量测量值的不确定度为：。

附录G

**气候模拟系统平均降雪量测量的不确定度分析**

G.1 测量方法

降雪模拟路段平均降雪量主要采用雨量桶对降雪模拟路段进行测量。在降雪模拟路段，相隔一定的距离取点，测试一定时间内每个测点位置的降雪量，求得降雪量平均值、降雪量均匀度，并与设计值进行比较，验证平均降雪量符合要求。

G.2 平均降雪强度的数学模型

（G.1）

式中：

——模拟区域内各测试点的平均降雪量，;

——测试点i上记录的降雨量，；

——模拟区域内的测试点总数；

——时间系数，值可取12或24，当值取12时则计算12小时降雪量，值取24时则计算的是24小时降雪量；

——测试时间长度，小时。

G.3 灵敏系数和方差

以，，， 为例分析不确定度。

各输入量的灵敏系数可以写为：

(G.2)

(G.3)

各输入量彼此独立，根据不确定度传播定律，可以得到方差:

(G.4)

G.4 输入量的不确定度评定

G.4.1输入量的不确定度评定

输入量的不确定度主要来源于雨量桶的测量重复性和示值量化误差。

G.4.1.1 雨量桶测量重复性的标准不确定度评定

测量重复性可以通过连续测量得到的测量列，采用A类方法进行评定。

以雨量桶内收集到的雪量为5 mm为例，进行10次独立、等精度测量，得到数据如下表所示：

表G.1 10 mm校准点雪量测量数据表 （mm）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 5.2 | 5.2 | 5.0 | 5.5 | 5.5 | 5.3 | 5.3 | 5.2 | 5.3 | 5.2 |

得到单次测量的实验标准差为

0.448 mm

实际测量中，进行1次测量，其标准不确定度分量为：

=0.448 mm

G.4.1.2 雨量桶的示值量化误差的标准不确定度评定

假设在降雪模拟路段采集的降雨量为10mm，则示值误差为，其量化误差属于均匀分布，采用B类方法进行评定，，其引入的标准不确定度分量为

由于重复性分量包含示值量化误差的标准不确定度分量，为避免重复计算，只取最大影响。因在本次测量中，重复性引入的不确定度大于示值量化误差引入的不确定度，故只考虑重复性引入的不确定度，舍弃。

G.4.2 输入量的不确定度评定

输入量的不确定度由计时秒表引入，秒表的最大允许误差为，服从均匀分布，采用B类方法进行评定：

G.5 输出量的标准不确定度分量

表G.2 输出量的的标准不确定度分量一览表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 输入量估计值的标准不确定度评定 | | | 输入量估计值的标准不确定度评定 | |
|  | 来源 | 符号 | 数值 | 灵敏度系数 |  |
| 1 | 雨量桶重复测量 |  | 0.448 mm |  | 0.289 |
| 2 | 时间测量误差 |  |  |  | 5.898 |

G.6 合成标准不确定度的计算

由于各标准不确定度分量独立不相关，故合成标准不确定度为

G.7 扩展不确定度的评定

取，则

取一位有效数字，则

G.8测量不确定度的报告

由上述分析得到降雨模拟平均降雨量测量值的不确定度为：。

# 附录H

# 气候模拟系统风速测量的不确定度分析

H.1 测量方法

强风模拟路段平均风速主要采用风速计对强风模拟路段进行测量。在强风模拟路段，相隔一定的距离取点，测试每个测点位置的风速，求得风速的平均值、风速均匀度，并与设计值进行比较，验证风速符合要求。

H.2 平均风速的数学模型

（H.1）

式中：

——模拟区内的平均风速，;

——模拟区域内各点的风速，；

——测量点数。

H.3 输入量的不确定度评定

输入量的不确定度主要来源于风速计的测量重复性和示值量化误差。

H.3.1 风速计测量重复性的标准不确定度评定

测量重复性可以通过连续测量得到的测量列，采用A类方法进行评定。以为20 m/s为例，进行10次独立、等精度测量，得到数据如下表H.1所示：

表H.1 20 m/s校准点速度测量数据表 （m/s）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 20.14 | 20.16 | 20.12 | 20.14 | 20.16 | 20.12 | 20.14 | 20.16 | 20.14 | 20.16 |

得到单次测量的实验标准差为

0.02 m/s

实际测量中，进行1次测量，其标准不确定度分量为：

=0.02 m/s

H.3.2 风速计的示值量化误差的标准不确定度评定

假设在测量的风速为20 m/s，则最大允许示值误差为，其量化误差属于均匀分布，采用B类方法进行评定，，其引入的标准不确定度分量为

由于重复性分量包含示值量化误差的标准不确定度分量，为避免重复计算，只取最大影响。因在本次测量中，示值误差引入的不确定度大于重复性误差引入的不确定度，故只考虑示值误差引入的不确定度，舍弃。

H.3.3 风速表的分辨力的标准不确定度评定

风速表的分辨力为，服从均匀分布，采用B类方法进行评定：

H.4 合成标准不确定度的计算

由于各标准不确定度分量独立不相关，故合成标准不确定度为

H.5 扩展不确定度的评定

取，则

取一位有效数字，则

H.6测量不确定度的报告

由上述分析得到强风模拟平均风速测量值的不确定度为：。

# 附录J

# 气候模拟系统结冰道路摩擦系数测量的不确定度分析

J.1 测量方法

结冰道路模拟路段摩擦系数主要采用摆式仪对结冰路面进行测量。在结冰道路模拟路段，相隔一定的距离取点，测试每个测点位置的摩擦系数，求得摩擦系数的平均值，并与设计值进行比较，验证结冰道路符合要求。

J.2 平均摩擦系数的数学模型

（J.1）

式中：

——模拟区内的平均摩擦系数;

——模拟区域内各点的路面抗滑值；

——测量点数。

J.3 输入量的不确定度评定

输入量的不确定度主要来源于摆式仪的测量重复性和示值量化误差。

J.3.1 摆式仪测量重复性的标准不确定度评定

测量重复性可以通过连续测量得到的测量列，采用A类方法进行评定。以结冰道路某位置为例，进行10次独立、等精度测量，得到数据如下表所示：

表J.1 结冰道路校准点BPN测试数据表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 |

得到单次测量的实验标准差为

0.483

实际测量中，每个点位进行5次测量，其标准不确定度分量为：

=0.216

J.3.2 摆式仪的示值误差的标准不确定度评定

数字摆式仪的最大允许示值误差为，其量化误差属于均匀分布，采用B类方法进行评定，，其引入的标准不确定度分量为

由于重复性分量包含示值量化误差的标准不确定度分量，为避免重复计算，只取最大影响。因在本次测量中，示值误差引入的不确定度大于重复性误差引入的不确定度，故只考虑示值误差引入的不确定度，舍弃。

J.3.3 温度测量的准确性的标准不确定度评定

温度值会影响BPN的取值，范围内温度变化，会带来BPN的变化为。温度计的最大允许误差是，服从均匀分布，采用B类方法进行评定：

J.4 合成标准不确定度的计算

由于各标准不确定度分量独立不相关，故合成标准不确定度为

J.5 扩展不确定度的评定

取，则

取一位有效数字，则

J.6测量不确定度的报告

由上述分析得到强风模拟平均风速测量值的不确定度为：。

# 附录K

# 隧道模拟系统平均亮度测量的不确定度分析

K.1 测量方法

隧道照明的亮度主要采用亮度计对路面亮度进行测量。在有代表性的路段，采用四点法或中心法取点，测试每个测点位置的亮度，求得隧道照明的亮度平均值、亮度均匀度，并与设计值进行比较，验证隧道照明的亮度符合要求。

K.2 数学模型

平均亮度

（K.1）

式中：

——平均亮度，;

——各测点的亮度，；

——测量点数。

K.3 不确定度来源

不确定度主要来源于以下两个方面：

1. 重复性引入的不确定度；
2. 示值误差引入的不确定度；
3. 标准器视觉匹配误差引入的不确定度。

K.4 不确定度分量的评定

K.4.1 重复性引入的标准不确定度

重复性引入的不确定度主要来源于亮度计的测量结果重复性，采用A类方法进行评定。

对隧道中某一路段的一个车道采用中心布点法进行测试，两灯之间取10个点，车道横向取5个点，则形成10x5的点阵，对某点亮度连续测量10次得到亮度值如表K.1所示。

K.1 中心布点法测得单个车道某点亮度值

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 160.01 | 160.02 | 160.01 | 159.93 | 159.97 | 159.98 | 160.01 | 159.95 | 159.89 | 160.01 |

单次实验标准差为

则标准不确定度为

K.4.2 亮度计示值（数显量化误差）的标准不确定度评定

一级亮度计的示值误差为，其量化误差属于均匀分布，采用B类方法进行评定，，其引入的标准不确定度分量为

由于重复性分量包含亮度计示值误差的标准不确定度分量，为避免重复计算，只取最大影响量。因此在本次测量中，重复性引入的不确定度小于分辨力引入的不确定度，故只考虑分辨力引入的不确定度，舍弃。输入量的不确定度：

K.4.2 亮度计视觉匹配误差的标准不确定度评定

亮度计的视觉匹配误差为，服从均匀分布，采用B类方法进行评定：

K.4.3 亮度计不均匀响应误差的标准不确定度评定

亮度计的不均匀响应误差为，服从均匀分布，采用B类方法进行评定：

K.5 合成不确定度的评定

由于各标准不确定度分量互不相关，故合成标准不确定度为

K.6 扩展不确定度的评定

取，则

取一位有效数字，则

K.7测量不确定度的报告

由上述分析得到隧道路面平均亮度测量值的不确定度分别为：。

# 附录L

# 隧道模拟系统卫星信号和移动通信信号强度测量的不确定度分析

L.1 测量方法

隧道卫星信号和蜂窝移动通讯信号主要采用频谱仪等频率和功率测量设备在隧道内部进行测量。在有代表性的路段，每隔一定距离取点，测试每个测点位置的卫星信号和蜂窝移动通讯信号，求得隧道卫星信号和蜂窝移动通讯信号的平均强度，验证隧道中微信信号和蜂窝移动通讯信号符合真实隧道要求。

L.2 卫星信号强度的测量不确定度

L.2.1数学模型

信号平均强度

（L.1）

式中：

——信号平均强度，;

——各测点的信号强度，；

——测量点数。

L.2.2 输入量的不确定度评定

L.2.2.1重复性引入的标准不确定度

由功率测量的重复性引入的不确定度，测量结果重复性可以通过连续测量得到的测量列，采用A类方法进行评定。

对隧道内部距离入口10m处的一个长度20m路端内布点进行测试，路段为两车道，在车道中线取点，每隔5米取点，形成的测试点阵，逐点测试得到卫星信号强度。对某一个测试点连续测量10次，得到的信号强度如表L.1所示。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| -50.01 | -50.01 | -50.01 | -50.04 | -50.04 | -50.01 | -50.02 | -50.02 | -50.01 | -50.01 |

L.1 测得单个车道某点卫星信号强度 （）

则单次实验的标准差为

L.2.3 由功率计引入的不确定度

由检定证书给出标准装置中功率计的标准不确定度为。

L.2.4合成不确定度的评定

由于各标准不确定度分量互不相关，故合成标准不确定度为

L.2.5 扩展不确定度的评定

取，则

取一位有效数字，则

L.2.6测量不确定度的报告

由上述分析得到隧道该路段卫星信号测量值的不确定度分别为：。

L.3蜂窝通信强度的测量不确定度

L.3.1数学模型

信号平均强度

式中：

——信号平均强度，;

——各测点的信号强度，；

——测量点数。

L.3.2 输入量的不确定度评定

输入量的不确定度主要来源于功率测量一起的测量重复性，测量结果重复性可以通过连续测量得到的测量列，采用A类方法进行评定。

对隧道内部入口段的一个长度100m路端内布点进行测试，路段为两车道，在车道中线取点，每隔20米取点，形成的测试点阵，逐点测试得到卫星信号强度。对某一个测试点连续测量10次，得到的信号功率如表L.2所示。

L.2 测得单个车道某点移动通信信号功率密度 （）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| -60.01 | -60.01 | -60.02 | -60.01 | -60.01 | -60.01 | -60.01 | -60.02 | -60.02 | -60.02 |

则标准不确定度为

L.3.3 由功率计引入的不确定度

由检定证书给出标准装置中功率计的标准不确定度为。

L.3.4合成不确定度的评定

由于各标准不确定度分量互不相关，故合成标准不确定度为

L.3.5扩展不确定度的评定

取，则

取一位有效数字，则

L.3.6测量不确定度的报告

由上述分析得到隧道该路段蜂窝通信信号测量值的不确定度分别为：。