ICS 43.080.01
T 00/09

团 体 标 准

T/ITS XXXX.5—2021

智慧矿山 矿用车辆自动驾驶协同作业系统 第5部分：测试方法及要求

Intelligent mining vehicle automated driving cooperative operation system—
Part 5: Test methods and requirements

(征求意见稿)
本草案完成日期2021年12月
在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上

中国智能交通产业联盟

XXXX－XX－XX 发布 XXXX－XX－XX 实施

中国智能交通产业联盟 发 布

中国智能交通产业联盟

目　　次

前　　言 II
1 范围 1
2 规范性引用文件 1
3 术语和定义 1
4 一般要求 2
4.1 测试场地 2
4.2 测试环境 2
4.3 测试设备及数据采集 2
4.4 测试车辆 3
4.5 测试过程 3
4.6 测试通过要求 3
5 测试方法 4
5.1 测试场景分类 4
5.2 车辆测试 5
5.3 云控平台测试 21

前　　言

本文件按照GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国智能交通产业联盟提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

中国智能交通产业联盟

智慧矿山 矿用车辆自动驾驶协同作业系统
第5部分：测试方法及要求

1 范围

本文件规定了智慧矿山自动驾驶协同作业系统测试的一般要求和测试方法。
本文件适用于具备4级及以上自动驾驶能力的矿用车辆自动驾驶协同作业系统。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 40429-2021 汽车驾驶自动化分级

3 术语和定义

T/ITS XXXX.1和T/ITS XXXX.3界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1
测试车辆 vehicle under test; VUT
具备自动驾驶功能并进行自动驾驶功能测试的重型矿用车辆。

3.2
目标车辆 vehicle target; VT
用于构建测试场景的车辆。

3.3
目标物 target object
用于构建测试场景的交通参与者及障碍物。

3.4
测试场景 test scenario
车辆测试过程中所处道路、交通状态及车辆状态等要素的集合。

3.5
换道 lane changing
车辆从车轮首次触碰车道边线到全部车轮进入相邻车道。

3.6
指令 instruction
操作员输入或测试车辆经过处理感知、地图等信息后发出的信号。

3.7
自动驾驶模式 automated driving mode
由自动驾驶系统承担全部动态驾驶任务的模式。

3.8
设计运行范围 operational design domain; ODD
驾驶自动化系统设计时确定的适用于其功能运行的外部环境条件。
注：典型的外部环境条件有道路、交通、天气、光照等。

3.9
最小风险策略 minimum risk strategy
车辆根据实际情况做出的将风险降至最低的驾驶策略。

中国智能交通产业联盟

3.10

装载对位　loading alignment

矿用车辆在装载设备指定的物料装载点进行准确停泊，提高装载效率的行为。

3.11

预计碰撞时间　pre-collision time

试验车辆在预设行驶轨迹中保持当前行驶速度到达与目标物的预碰撞点所需要的时间。

3.12

虚拟车道线　virtual lane line

指在高精度电子地图中绘制的车道线、停止线等，通常与物理车道线重合，部分非结构化道路无法绘制车道线，通过地图中的虚拟车道线进行标识。

4　一般要求

4.1　测试场地

测试场地应满足如下要求：

——选取在当地矿山具有代表性的行驶路面；

——满足所有测试场景的要求；

——具有测试车辆自动驾驶功能正常开启的设施条件。

测试场景搭建可根据测试车辆设计运行范围及测试场地特征进行适应性调整。

4.2　测试环境

测试环境应满足如下要求：

——电磁环境不对测试结果产生明显影响；

——天气良好且光照正常。

4.3　测试设备及数据采集

4.3.1　目标物

目标车辆和设备应为批量生产的矿山车辆和设施，或表面特征参数能够代表上述车辆且适应传感器系统的物体。其中，目标车辆速度误差应不大于3 km/h。

4.3.2　测试设备记录数据

测试数据应包含如下内容：

a）车辆控制模式；

b）测试车辆运动状态参数；

c）车辆位置信息；

d）车辆纵向速度；

e）车辆横向速度；

f）车辆纵向加速度；

g）车辆横向加速度；

h）车辆灯光和相关提示信息状态；

i）测试车内人机交互状态的视频及语音监控情况；

j）测试车辆行驶状态的视频信息；

k）目标物的位置及运动数据。

4.3.3　测试设备精度

测试设备应满足如下要求：

——测试车辆及目标车辆运动状态采样和存储的频率至少为100 Hz；

中国智能交通产业联盟

——视频采集设备分辨率不小于(1920×1080) 像素点；
——测试车辆及目标车辆速度采集精度为0.1 km/h；
——测试车辆及目标车辆横向和纵向位置采集精度为0.1 m；
——测试车辆及目标车辆加速度采集精度为0.1 m/s^2。

4.4 测试车辆

测试车辆除满足第5章测试项目及要求外，还应满足如下要求：
——具有明确的自动驾驶功能退出条件和开启条件；
——能发出告知系统状态的提示信息；
——自动执行最小风险策略达到风险最小状态的能力。

4.5 测试过程

4.5.1 测试车辆检查

测试开始前应对测试车辆所提供的信息进行符合性检查，并记录车辆外部特征和车辆识别代号。

4.5.2 载荷要求

测试车辆应满足如下载荷要求：
——矿用运输车载荷不大于最大允许载荷量；
——车辆整备质量加上驾驶员和测试设备的总质量不大于最大允许总质量。

4.5.3 过程管理

测试过程应满足如下要求：
——第5章所有测试场景均在自动驾驶模式下完成；
——测试车辆不进行软硬件变更。

4.6 测试通过要求

4.6.1 系统激活与停用

车辆启动后（发动机自动启停除外），测试车辆应满足下列要求之一：
——测试车辆自动驾驶功能处于未激活状态；
——符合车辆制造商声明的条件下，测试车辆自动驾驶功能可以自动处于就绪状态。

测试车辆自动驾驶功能处于“就绪”状态下，测试人员可通过制造商声明的专用操纵方式激活自动驾驶功能；处于“未就绪”状态下，测试人员不可激活自动驾驶功能。

4.6.2 执行动态驾驶任务

系统应持续执行动态驾驶任务，不应导致交通事故。

通过设备采集车辆行驶状态，评价测试车辆应满足下如下要求：
——除测试人员身体原因和不可抗力因素外，试验过程中不发生干预；
——车辆行驶期间，除换道和受到干扰的情况以外不碾压虚拟车道线；
——若驻车等待，车辆轮廓不超越虚拟停止线停车；
——车速不超过限制速度；
——不得以危险的方式超车及调头；
——不违反交通信号灯指示信号行驶；
——除与周边交通参与者、障碍物或者相关交通设施无法保持安全距离以及换道情况下，车辆稳定行驶于车道内；
——非紧急情况下，速度变化不让人产生眩晕及其他不适症状；
——不得在非紧急情况下，实施紧急制动或紧急转向。

中国智能交通产业联盟

4.6.3 最小风险控制

测试车辆在测试过程中，自动驾驶系统应具有最小风险控制策略，执行最小风险控制应满足如下要求：

a) 使车辆最终停止在目标停车区域内；
b) 若系统运行状态的提示信号发生变化，该提示信号明显区分于其他系统提示信号；
c) 车辆立即对外发出危险警告信号；
d) 不主动导致交通事故；
e) 车辆执行完最小风险控制后，自动驾驶系统应禁用，在车辆重新启动后方可重新激活。

4.6.4 测试车辆状态显示

测试车辆的状态显示满足如下要求：

a) 系统未激活提示：

——系统处于关闭状态时，应有明显方式提示用户本车辆自动驾驶功能未打开；

——系统处于就绪状态时，车辆自动驾驶功能已处于打开状态且具备正常激活的条件，应至少有一种明确方式提示系统可被激活，如视觉文字指示等；

——系统处于未能成功激活的非就绪状态时，宜视觉提示典型的未激活原因类别，例如ODD不满足的情况，可视觉提示用户操作车辆；

b) 系统激活和退出提示：

——系统由未激活状态进入激活状态时应进行明显的提示；

——系统由激活状态退出至未激活状态时应进行明显的提示；

c) 系统运行状态提示：

——系统激活进入正常工作状态，在用户直观可见的位置至少有视觉方式提示用户自动驾驶系统已正常工作；

——对于车上有用户的自动驾驶系统，正常激活状态下，若出现非危险工况下一定阈值范围内加减速度或大幅度转向控制等可能影响乘坐舒适性的情况，可提前一定阈值时间提示车内人员；

d) 测试过程中若出现系统故障，应有相应的提示；对于影响车辆行驶功能的严重系统故障的情况，需通过包含视觉在内的三种明显提示方式进行持续提醒。

4.6.5 测试通过条件

测试车辆通过条件应满足如下要求：

——完成测试车辆设计运行范围内所有测试项目并满足各测试项目的通过条件；

——测试车辆一次性通过所有测试；

——测试过程中不发生自动驾驶功能失效。

5 测试方法

5.1 测试场景分类

5.1.1 车辆测试项目

形式区域可分为运输道路、装载区、卸载区和专用道路四种测试场景，具体内容如下：

a) 运输道路包含双向双车道、双向单车道、十字路口、环形路口和有上方遮挡道路；
b) 装载区指露天矿山挖掘机或放矿漏斗（装载设备）的车辆装载区域（工作面）；
c) 卸载区指有护坡的卸载区域或破碎站（转载仓）；
d) 专用道路指停车场一类的矿用车辆停车区。

各类场景所包含的测试场景如表1所示。

表 1 车辆测试场景分类对照表

序号	测试项目	序号	测试项目
1	道路限速	15	对向车辆借道行驶
2	双向双车道通行	16	目标车辆停-走
3	双向单车道通行	17	跟车行驶
4	信号指示灯	18	跟车前方存在静止车辆
5	环形路口	19	前方车辆紧急制动
6	路口直行车辆冲突通行	20	行驶方向靠边停车
7	路口右转车辆冲突通行	21	动态驾驶任务干预及接管
8	路口左转车辆冲突通行	22	最小风险减缓策略
9	常规障碍物	23	垂直倒车入位
10	静止车辆占用当前车道	24	斜摆倒车入位
11	定位遮挡	25	驶出车位
12	路面障碍物识别及响应	26	对向行车三角折返式调头
13	前方车辆切入	27	对向行车回转式调头
14	前方车辆切出	28	装载对位
场景类别	测试项目		
运输道路	1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12、13、14、15、16、17、18、19、20、21、22、23		
装载区	24、25、28		
卸载区	24、25		
专用道路	26、27		

5.1.2 云控平台测试项目

云控平台应包括如下测试项目：

a) 云控平台车辆数据管理能力测试；
b) 云控平台故障诊断测试；
c) 远程驾驶接管测试；
d) 车辆编组和调试测试；
e) 地图维护测试。

5.2 车辆测试

5.2.1 限速标志

5.2.1.1 测试场景

测试道路为至少包含一条车道的长直道，根据V_{max}在表2中选取相对应的限速及解除限速标志牌数值，或在地图中标注限速信息，标志牌之间距离至少为100 m。如图1所示。

表 2 限速标志选取参照表

V_{max}（km/h）	初始道路限速（km/h）	限速标志数值（km/h）	解除限速标志（km/h）	恢复限速标志（km/h）
$30 \leqslant V_{max} < 40$	30	20	20	30
$20 \leqslant V_{max} < 30$	20	15	15	20
$V_{max} \leqslant 20$	20	$V_{max}-10$	$V_{max}-10$	20

注：V_{max}为测试车辆在其设计运行条件下自动驾驶模式可运行的最高速度。

中国智能交通产业联盟

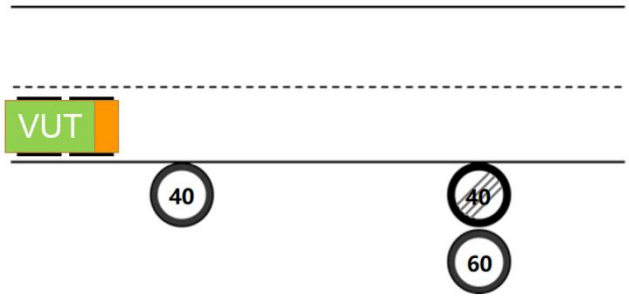

图 1 限速标志测试场景示意图

5.2.1.2 测试方法

测试车辆以不低于初始道路限速的75%的速度在长直道内驶向限速标志。

5.2.1.3 通过要求

测试车辆通过上述测试时应满足如下要求：

a) 测试车辆最前端超越限速标志牌时，速度应不高于限速标志所示速度；
b) 在限速标志牌间行驶时，测试车辆的行驶速度应不低于该路段限速的75%；
c) 通过解除限速标志牌后50 m时，测试车辆行驶速度应不低于该路段限速的75%。

5.2.2 双向双车道通行

5.2.2.1 测试场景

测试道路为一条长度不低于2 km，宽度不低于40 m的双向两车道路，路面中心线为黄色虚线（因露天矿道路原因，如无法铺设黄线，应用虚拟线代替），用于分隔对向行驶的交通流。如图2所示。

图 2 双向单车道测试场景示意图

5.2.2.2 测试方法

测试方法为两台测试车辆分别在两条车道上相向行驶。

5.2.2.3 通过要求

测试车辆通过上述测试时应满足如下要求：

——测试车辆的车身任何部分均不越过路面中心线；
——测试车辆各类传感器均不受相互干扰；
——两车会车时均能安全通过。

5.2.3 双向单车道通行

5.2.3.1 测试场景

测试道路为一条长度不低于2 km，宽度不低于20 m的双向单车道，道路是允许测试车辆双向通行的单车道。如图3所示。

图 3 双向单车道测试场景示意图

5.2.3.2 测试方法

测试方法如下：

——单车实验:单台测试车辆在双向单车道上进行行驶；

——双车实验:目标车辆和测试车辆分别处于车道两侧入口，两车均驶入双向单车道后，会车时目标车辆向车道内侧靠边停车避让，测试车辆减速驶出双向单车道。

5.2.3.3 通过要求

测试车辆通过上述测试时应满足如下要求：

——两台测试车辆不应接触且保持不少于5 m的安全距离（视路面宽度决定）；

——相向行驶的车辆各类传感器均不受干扰；

——处于等待或避让状态的车辆在未确定另一台车辆安全通过前，不能有任何车辆行驶动作（特殊情况除外）；

——两车均能安全通过车道。

5.2.4 信号指示灯

5.2.4.1 测试场景

测试道路为至少包含一条车道的长直道并在路段内设置交通信号灯；该路段设置限速为20 km/h。如图4所示。

图 4 信号指示灯测试场景示意图

5.2.4.2 测试方法

测试车辆在车道内驶向交通信号灯。交通信号灯初始状态为绿色，车辆将至少3次通过该场景且包含下述两种情况：

1) 交通信号灯保持绿色状态；

中国智能交通产业联盟

2) 交通信号灯在测试车辆最前端距离停止线 40 m-45 m 时信号灯由绿色变为黄色持续 3 s 后变为红色并持续 30 s 后变为绿色。

本场景应测试三次，上述两种交通信号灯状态应至少出现一次。

5.2.4.3 通过要求

测试车辆通过上述测试时应满足如下要求：

a) 当进行5.2.4.2测试方法中1）项状态测试时，测试车辆应通过路口且在通过过程中应不存在停止行驶的情况。

b) 当进行5.2.4.2测试方法中2）项状态测试时，测试车辆在红灯点亮后应停止于停车线前且车身任何部位不越过停止线，车辆最前端与停止线最小距离应不大于4 m；当信号灯变为绿色后，起动时间应不超过5 s。

5.2.5 环形路口

5.2.5.1 测试场景

测试场地为不低于3个出入口的环形路口，每个出入口至少为双向两车道。测试车辆入口上游存在1辆行驶目标车辆，下游第1个入口存在静止车辆。测试车辆经环形路口驶向测试终点。如图5所示。

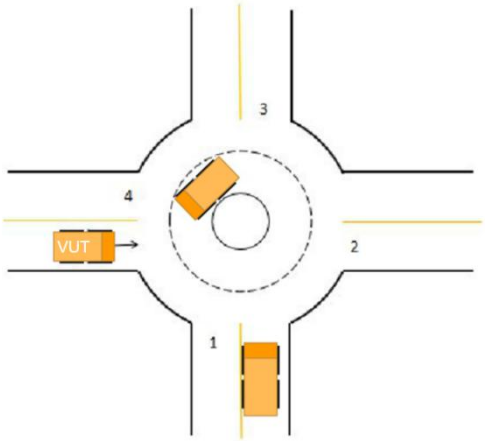

图 5 环形路口测试场景示意图

5.2.5.2 测试方法

测试车辆在车道内驶向环形路口，且车辆路径规划从出口2或出口3驶出环岛；当测试车辆到达环岛入口时，在入口上游附近存在以15 km/h的速度行驶正通过出口1驶出的目标车辆。

5.2.5.3 通过要求

测试车辆通过上述测试时应满足如下要求：

——绕经环岛由正确出口驶出并进入对应车道；

——避让目标车辆且不与目标车辆发生碰撞；

——不与路面基础设施发生碰撞；

——环岛内行驶不受路口目标车辆的影响。

5.2.6 路口直行车辆冲突通行

5.2.6.1 测试场景

测试道路为至少包含双向两车道（图为双向四车道）的十字交叉路口。目标车辆从测试车辆右方横向直线驶入路口。如图6所示。

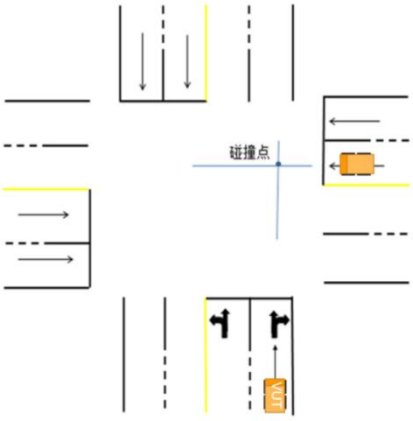

图 6 直行车辆冲突通行测试场景示意图

5.2.6.2 测试方法

测试车辆在车道内沿标有直行和右转指示标线或虚拟标识的车道直行通过该路口，当测试车辆距离预期碰撞点首次到达5 s时，目标车辆以20 km/h的速度驶入路口。若测试车辆保持当前行驶状态，两车存在碰撞风险。

5.2.6.3 通过要求

测试车辆通过上述测试时应满足如下要求：

——测试车辆提前减速避让目标车辆；

——驶入对应车道。

5.2.7 路口右转车辆冲突通行

5.2.7.1 测试场景

测试道路为至少包含双向两车道的十字交叉路口，交叉口道路转弯半径不小于20 m。目标车辆从测试车辆左方横向直线驶入路口。如图7所示。

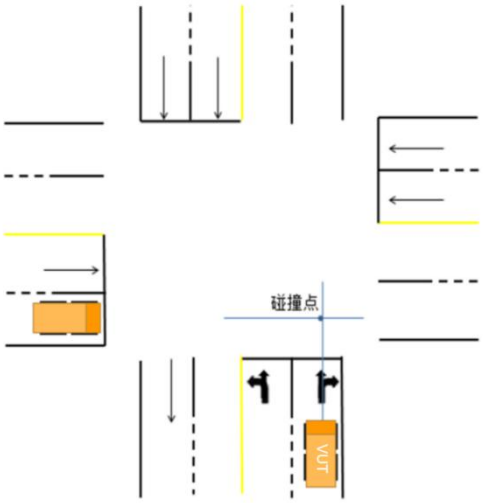

图 7 右转车辆冲突通行测试场景示意图

中国智能交通产业联盟

5.2.7.2 测试方法

测试车辆在车道内沿可右转的车道右转行驶通过该路口。当测试车辆距离到达预期碰撞点剩余5 s时，目标车辆以20 km/h的速度驶入路口。若测试车辆保持当前行驶状态，两车存在碰撞风险。

5.2.7.3 通过要求

测试车辆通过上述测试时应满足如下要求：

——测试车辆提前减速避让目标车辆；

——实现右转通行并进入对应车道；

——不与目标车辆发生碰撞。

5.2.8 路口左转车辆冲突通行

5.2.8.1 测试场景

测试道路为包含双向双车道的十字交叉路口，交叉口道路转弯半径不得小于测试矿用卡车的最小转弯半径。目标车辆从对向车道直线驶入路口。如图8所示。

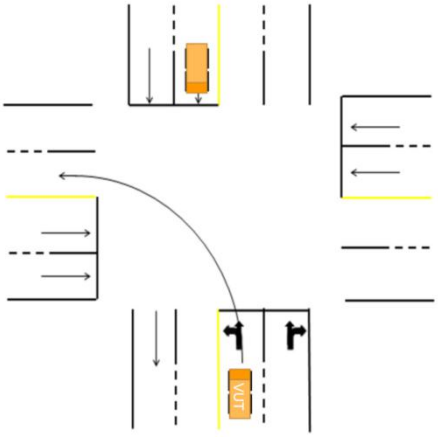

图 8 左转车辆冲突通行测试场景示意图

5.2.8.2 测试方法

测试车辆在车道内左转行驶通过该路口。当测试车辆距离到达预期碰撞点剩余5 s时，目标车辆以20 km/h的速度驶入路口。若测试车辆保持当前行驶状态，两车存在碰撞风险。

5.2.8.3 通过要求

测试车辆通过上述测试时应满足如下要求：

——实现左转通行并进入对应车道；

——不与目标车辆发生碰撞。

5.2.9 施工车道

5.2.9.1 测试场景

测试道路为至少包含两条车道的长直道。在车道内摆放大块岩体，或制造翻浆、严重坑洼等异常区域，并依据矿山道路维护要求在该处周围设置维护挡墙，维护挡墙占据位置不得超过道路宽度的1/2。如图9所示。

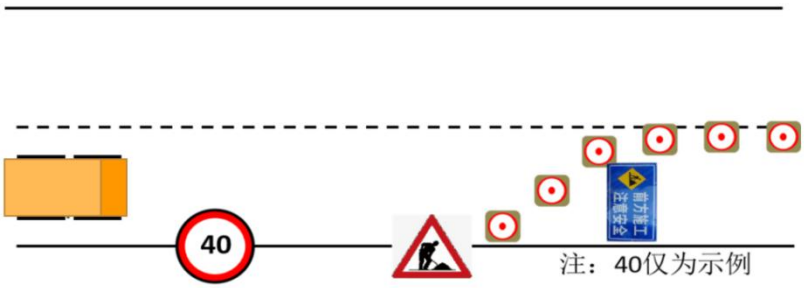

图 9 常规障碍物场景示意图

5.2.9.2 测试方法

测试车辆在施工车道内驶向前方障碍物。测试过程无人为干扰。

5.2.9.3 通过要求

测试车辆应采用变更车道绕行方式通过，且不得与障碍物碰撞。

5.2.10 静止车辆占用部分车道

5.2.10.1 测试场景

测试道路为包含两条行车道的长直道。在右侧车道存在静止目标车辆且目标车辆占用测试车辆的部分行驶车道，导致无法从当前车道直接通行。如图10所示。

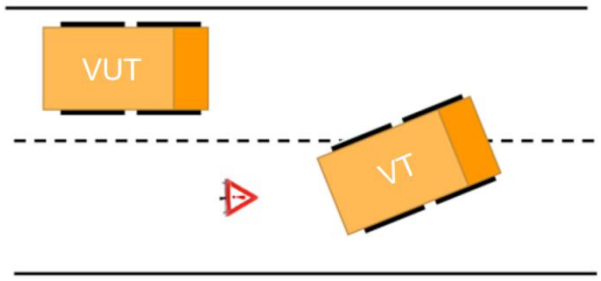

图 10 静止车辆占用部分车道场景示意图

5.2.10.2 测试方法

测试车辆沿测试道路驶向目标车辆。

5.2.10.3 通过要求

测试车辆通过上述测试时应满足如下要求：

——不与目标车辆发生碰撞；

——当测试车辆左侧区域可以避让通行时能够自主绕行，超越目标车辆后回归原路线；

——当测试车辆左侧区域不足以避让通行时，能够自主在当前车道进行等待并反馈到调度系统，待左侧车道可通行后超越目标车辆后回归原路线。

5.2.11 定位遮挡

5.2.11.1 测试场景

测试车辆以自动驾驶模式行驶在道路内，道路上方有对卫星信号产生遮挡的钢架或其他设施，道路至少一侧有较高山体对定位基站产生遮挡。如不具备上述条件，可选择测试区域典型的上方遮挡环境进行测试，或在测试中途关闭定位基站或GNSS接收机进行测试。

5.2.11.2 测试方法

测试应采取如下三种方法之一：

——车辆经过遮挡区域记录车辆运行状态，进行不少于5次的运行测试，记录车辆行为：

——车辆于直道和弯道运行中通过人工的方式使定位完全失效，保持不少于20秒，记录车辆行为；

——车辆于直道和弯道运行通过人工的方式使定位完全失效，直到车辆自主停止运行或车辆有危险行为时停止车辆自动驾驶并刹停，记录车辆行为。

5.2.11.3 通过要求

测试车辆通过上述测试时应满足如下要求：

——车辆在定位信号被山体遮挡的情况下可正常运行；

——车辆在定位信号被钢架或树木等遮挡区域时可正常运行；

——车辆在定位信号被人工完全遮挡的情况下直道和弯道可正常运行不少于20 s；

——车辆在定位信号不限时完全遮挡后，车辆在任意道路不低于20 s的正常运行后可根据自身情况择机刹停或完全不受影响完成本次运输。

5.2.12 路面障碍物识别及响应

5.2.12.1 测试场景

测试道路为至少包含两条车道的长直道。体积不大于100 cm*100 cm*100 cm的障碍物位于右侧车道内。如图11所示。

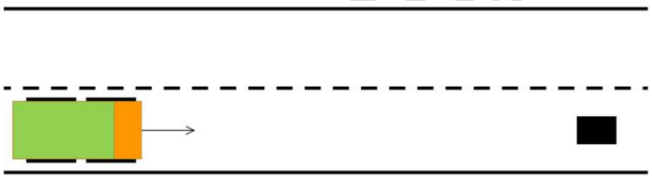

图 11 路面障碍物识别及响应测试场景示意图

5.2.12.2 测试方法

测试车辆于右侧车道内驶向障碍物。

5.2.12.3 通过要求

测试车辆通过上述测试时应满足如下要求：

——测试车辆采用变更车道绕行方式通过该场景；

——换道持续时间不大于15 s；

——不与障碍物发生碰撞。

5.2.13 前方车辆切入

5.2.13.1 测试场景

测试道路为包含两条车道的长直道，中间车道线为白色虚线或虚拟车道线。测试车辆在右侧车道内匀速行驶，目标车辆自相邻车道切入测试车辆的车道，两车存在碰撞风险。如图12所示。

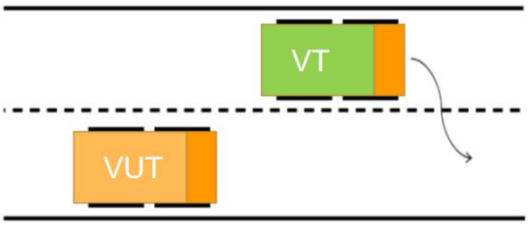

图 12 车辆驶入测试场景示意图

5.2.13.2 测试方法

测试车辆于右侧车道内行驶，目标车辆在相邻车道以V_{max}的50%速度行驶。当测试车辆达到V_{max}的85%以上且两车预计碰撞时间首次达到10 s～15 s，目标车辆开始切入右侧车道并完成换道，完成换道时间不大于20 s，并恢复换道前车速。

5.2.13.3 通过要求

测试车辆应不与目标车辆发生碰撞。

5.2.14 前方车辆切出

5.2.14.1 测试场景

测试道路为包含两条车道的长直道，两车道均存在目标车辆，目标车辆以V_{max}的50%速度匀速行驶，测试路段限速大于目标车辆行驶速度。如图13所示。

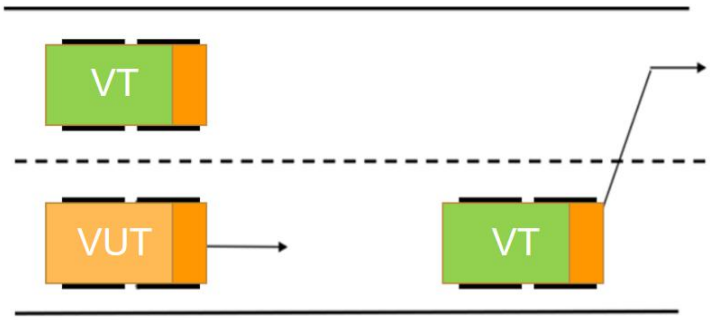

图 13 前方车辆切出测试场景示意图

5.2.14.2 测试方法

测试车辆在右侧车道驶向同车道目标车辆。当测试车辆稳定跟随目标车辆后，目标车辆开始换道并入相邻车道，完成换道时间不大于20 s。相邻车道目标车辆在本车道目标车辆换道开始前保持在测试车辆后端15 m以内行驶。

5.2.14.3 通过要求

测试车辆通过上述测试时应满足如下要求：

a) 测试车辆应不与目标车辆发生碰撞；

b) 目标车辆切出后，测试车辆应执行加速动作。

5.2.15 对向车辆借道行驶

5.2.15.1 测试场景

测试道路为包含双向单车道的长直道，中间车道线为白色虚线或虚拟车道线，存在目标车辆越中间线行驶，且占用对向车道25%以上,使测试车辆无法通过本车道和相邻车道。如图14所示。

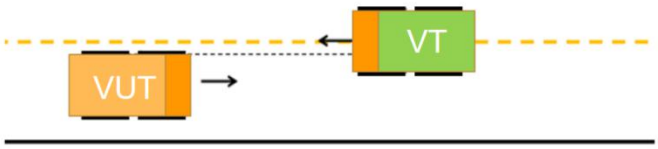

图 14 对向车辆借道行驶测试场景示意图

5.2.15.2 测试方法

测试车辆在车道内行驶，目标车辆以30 km/h匀速驶向测试车辆，两车达到稳定行驶后的初始纵向距离不小于100 m。测试车辆逐渐接近,减速至静止，目标车辆完成会车后驶回原车道；若当测试车辆减速至静止时，目标车辆驶回原车道。

5.2.15.3 通过要求

测试车辆通过上述测试时应满足如下要求：

——测试车辆不与目标车辆发生碰撞；

——测试车辆减速至静止，当目标车辆驶回后，测试车辆于15 s内起动。

5.2.16 目标车辆停-走

5.2.16.1 测试场景

测试道路为至少包含两条车道的长直道，中间车道线为白色虚线或虚拟车道线。测试道路内存在以V_{max}的75%匀速行驶目标车辆。如图15所示。

图 15 目标车辆停-走测试场景示意图

5.2.16.2 测试方法

测试车辆跟随前方行驶的目标车辆；测试车辆稳定跟随目标车辆行驶后，目标车辆以2 m/s^2～3 m/s^2减速度减速直至停止；若测试车辆保持跟随状态，当测试车辆车速降为0 km/h后，目标车辆起步并于10s内达到15 km/h。

5.2.16.3 通过要求

测试车辆通过上述测试时应满足如下要求：

a) 若具备换道行驶能力，目标车辆减速至停止过程中，测试车辆应完成换道并超越目标车辆且不与目标车辆发生碰撞；

b) 若不具备换道行驶能力，测试车辆应跟随目标车辆且不与目标车辆发生碰撞，起动时间应不大于15 s。

5.2.17 跟车行驶

5.2.17.1 测试场景

测试道路为至少包含两条车道的长直道，中间车道线为白色虚线或虚拟车道线。道路内存在匀速行驶的目标车辆。如图16所示。

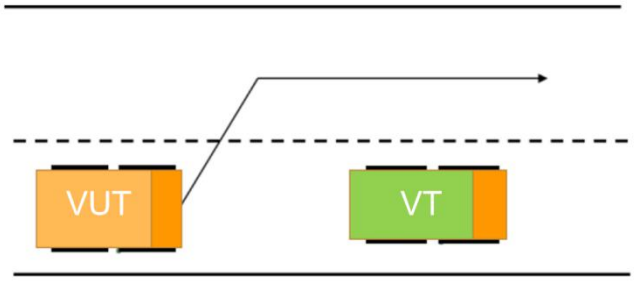

图 16 超越前车场景示意图

5.2.17.2 测试方法

目标车辆分别以测试车辆自动驾驶系统最高设计运行速度（V_{max}）的75%匀速行驶；测试车辆驶向目标车辆，当测试车辆稳定跟随目标车辆时，目标车辆以减速度1 m/s^2～2 m/s^{2}减速到V_{max}的10%并匀速行驶。

5.2.17.3 通过要求

测试车辆通过上述测试时应满足如下要求：

——若车辆不具备换道行驶功能，跟随目标车辆不与目标车辆发生碰撞；

——若车辆具备换道行驶功能，在超车过程中不与目标车辆发生碰撞，且不影响目标车辆正常行驶；

——测试车辆完成换道时间不大于20 s；

——在完成换道后10 s内加速至大于目标车辆行驶速度。

5.2.18 跟车前方存在静止车辆

5.2.18.1 测试场景

测试道路为至少包含两条车道的长直道，中间车道线为白色虚线或虚拟车道线。相同车道内存在两辆目标车辆，其中VT1以预设速度驶向静止状态VT2，两辆目标车辆的中心线偏差不超过0.5 m。如图17所示。

图 17 前方静止车辆场景示意图

5.2.18.2 测试方法

测试车辆稳定跟随VT1在相同车道内行驶，当VT1距离VT2预碰撞时间在预设时间后5 s内执行换道动作驶入相邻车道，完成换道时间不大于10 s。预设速度及预设时间如表4所示。

表 4 切出预设速度/时间对照表

V_{max}（km/h）	预设速度（km/h）	预设时间（s）
$30<V_{max}\leqslant 40$	35	15
$V_{max}\leqslant 30$	$V_{max}-10$	15

5.2.18.3 通过要求

测试车辆应不与目标车辆发生碰撞。

5.2.19 前方车辆紧急制动

5.2.19.1 测试场景

测试道路为至少包含一条车道的长直道且两侧车道线为实线或虚拟实线，车道内存在以V_{max}的75%匀速行驶的目标车辆。如图18所示。

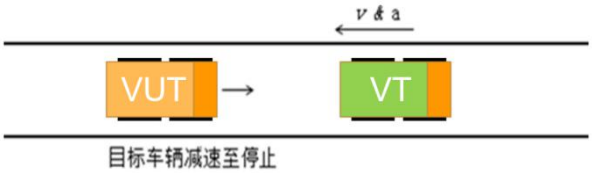

图 18 目标车辆紧急制动场景示意图

5.2.19.2 测试方法

测试车辆稳定跟随前方行驶的目标车辆。测试车辆以稳定车速跟随前方行驶的目标车辆，目标车辆1 s内减速度达到4 m/s^{2}并减速至停止。

5.2.19.3 通过要求

测试车辆应不与目标车辆发生碰撞。

5.2.20 行驶方向靠边停车

5.2.20.1 测试场景

测试道路为包含双向单车道的长直道；测试车辆在左测车道内行驶，相邻右侧车道存在目标车辆。如图19所示。

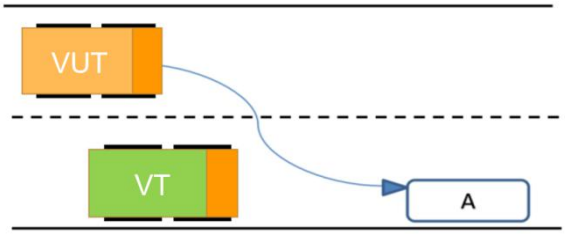

图 19 最右车道内靠边停车场景示意图

5.2.20.2 测试方法

测试车辆在车道内行驶，并设置A点为停车点。目标车辆在相邻车道，测试车辆开启右侧转向灯并越过目标车辆。

5.2.20.3 通过要求

测试车辆通过上述测试时应满足如下要求：

——车辆完成并道并停于右侧车道内；

——一次性完成停车，不应出现倒车等动作；

——右侧车轮距车道内侧最大距离不应大于50 cm；

——车辆距离停车点最近距离不应大于2 m。

5.2.21 动态驾驶任务干预及接管

5.2.21.1 测试方法

试验车辆以自动驾驶模式于长直道内行驶，驾驶员根据试验车辆可实现自动驾驶模式退出的方式执行干预操作。

5.2.21.2 通过要求

测试人员应获得测试车辆动态驾驶任务执行权限；交出权限后，测试车辆不应自主恢复自动驾驶模式。

5.2.22 最小风险减缓策略

5.2.22.1 测试方法

根据车辆设计运行范围，任选两个会使测试车辆无法完成当前行驶任务，需要测试人员介入请求的场景。如前方道路无法同行，路权分配失败等。

5.2.22.2 通过要求

测试车辆通过上述测试时应满足如下要求：

——测试车辆主动发出介入请求；

——测试车辆不发生碰撞。

5.2.23 垂直倒车入位

5.2.23.1 测试场景

测试道路为至少包含一条车道的长直道，在路段一侧设置车位，车位长度大于测试车辆车长3 m，宽度大于测试车辆车宽2 m，测试车辆初始位置到车位的转弯半径不小于测试车辆最小转弯半径。车位旁除必要监测设备外无其它遮挡物。如图20所示。

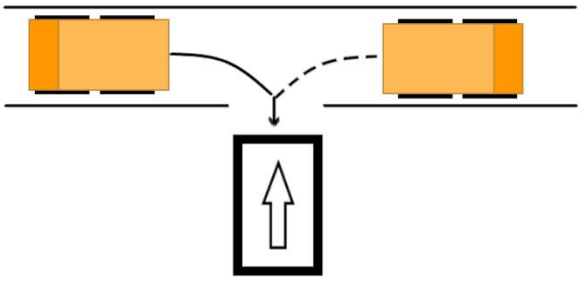

图 20 垂直倒车入位场景示意图

5.2.23.2 测试方法

测试车辆应不少于2次通过该场景且包含下述两种情况：
——从车位左侧垂直倒车入位；
——从车位右侧垂直倒车入位。

5.2.23.3 通过要求

测试车辆通过上述测试时应满足如下要求：
——倒车过程中车速控制均匀；
——倒车完成后车身完全进入车位且任何部位不超出车位范围。

5.2.24 斜摆倒车入位

5.2.24.1 测试场景

测试道路为至少包含两条车道的长直道，在路段一侧设置车位，车位长度大于测试车辆车长3 m，宽度大于测试车辆车宽2 m。车位旁除必要监测设备外无其它遮挡物。如图21所示。

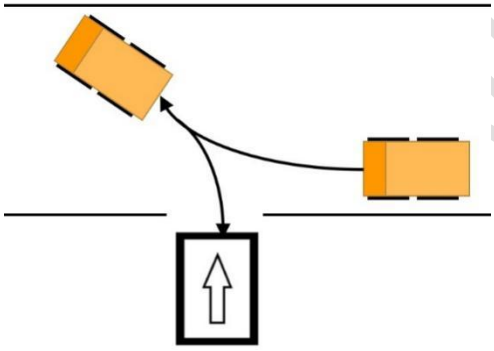

图 21 斜摆倒车入位场景示意图

5.2.24.2 测试方法

测试车辆应不少于2次通过该场景且包含下述两种情况：
——在车位左侧摆斜倒车入位；
——在车位右侧摆斜倒车入位。

5.2.24.3 通过要求

测试车辆通过上述测试时应满足如下要求：
——倒车过程中车速控制均匀；
——倒车完成后车身完全进入车位且任何部位不超出车位范围。

5.2.25 驶出车位

5.2.25.1 测试场景

测试道路为至少包含一条车道的长直道，在路段一侧设置车位，车位长度大于测试车辆车长3 m，宽度大于测试车辆车宽2 m；车位旁除必要监测设备及锥形交通路标外无其它遮挡物。如图21所示。

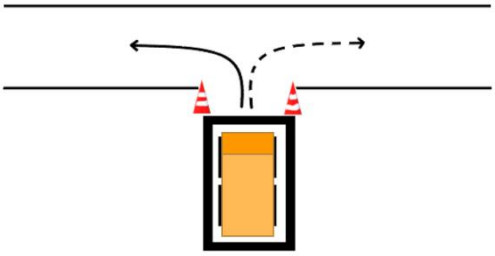

图 22 驶出车位场景示意图

5.2.25.2 测试方法

测试车辆将至少2次通过该场景且包含下述两种情况：

——在道路左侧驶出车位；

——在道路右侧驶出车位。

5.2.25.3 通过要求

测试车辆通过上述测试时，测试车辆驶出过程中不与障碍物发生碰撞。

5.2.26 对向行车三角折返式调头

5.2.26.1 测试场景

测试道路为至少包含两条车道的长直道，道路宽度满足测试车辆进行三角折返式调头要求。如图19所示。测试道路最小宽度计算公式如下：

$$B_{min} = M + R + L + S + P + C + Z \quad (1)$$

式中：$R = 1.2\ R_{min}$

B_{min}——最小测试道路宽度，单位为米（m）；

M——车辆调头时，前轮至坡底的距离，一般取M=5 m；

L——车辆轴距，单位为米（m）；

R——车辆转弯半径，单位为米（m）；

R_{min}——车辆最小转弯半径，单位为米（m）；

S——车辆轮距（外缘），单位为米（m）；

P——车辆轮缘至道路土堤坡底的距离，单位为米（m）；

C——道路土堤宽度，一般取C=3.5 m；

Z——道路土堤坡底至坡顶的安全距离，一般12 m台阶：Z=0.31。

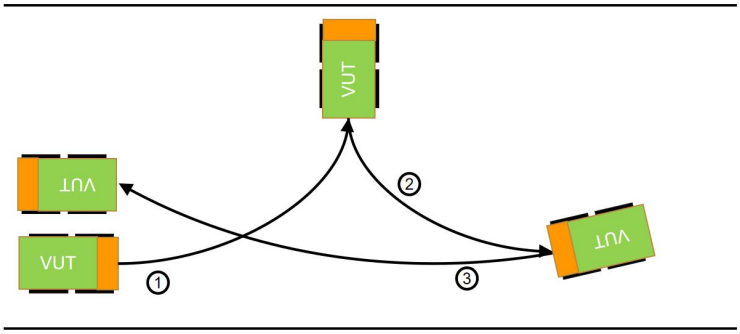

图 23 对向行车三角折返式调头示意图

5.2.26.2 测试方法

测试车辆沿一侧道路行驶50 m后，经三角折返式调头改变行驶方向，沿另一侧道路驶回，如图 23 所示。

5.2.26.3 通过要求

测试车辆通过上述测试时应满足如下要求：

——测试车辆经三角折返式调头改变行驶方向，于对向车道驶回；

——测试车辆调头过程与道路边界保持5 m距离。

5.2.27 对向行车回转式调头

5.2.27.1 测试场景

测试道路为至少包含两条车道的长直道，道路宽度满足测试车辆进行回转式调头要求。如图24所示。测试道路最小宽度计算公式如下：

$$B_{min} = L + 2R + S + P + C + Z \quad (1)$$

式中：$R = 1.2\ R_{min}$

B_{min}——最小测试道路宽度，单位为米（m）；

L——矿用自卸汽车调头时，外轮至坡底的距离，一般取L=5 m；

R——矿用自卸汽车转弯半径，单位为米（m）；

R_{min}——矿用自卸汽车最小转弯半径，单位为米（m）；

S——矿用自卸汽车轮距（外缘），单位为米（m）；

P——矿用自卸汽车轮缘至护堤坡底的距离，单位为米（m）；

C——护堤宽度，一般取C=3.5 m；

Z——护堤坡底至坡顶的安全距离，一般12m台阶：Z=0.31。

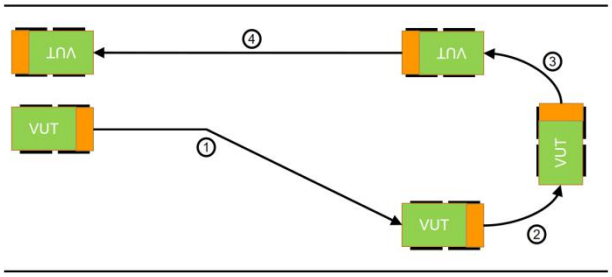

图 24 对向行车回转式返式调头示意图

5.2.27.2 测试方法

测试车辆沿一侧道路行驶50 m后，经回转式调头改变行驶方向，沿另一侧道路驶回。

5.2.27.3 通过要求

测试车辆通过上述测试时应满足如下要求：

——测试车辆经回转式调头改变行驶方向，于对向车道驶回；

——调头过程与道路边界保持3 m距离。

5.2.28 装载对位

5.2.28.1 测试场景

测试道路为一条长直道，道路宽度满足测试车辆行驶要求，道路中包含一台装载设备，装载设备位置如图25和图26两种形式。

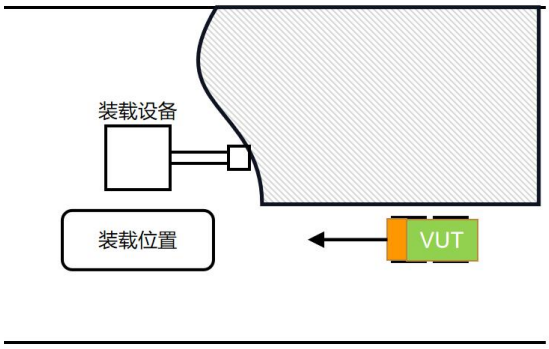

图 25 正向装载对位示意图

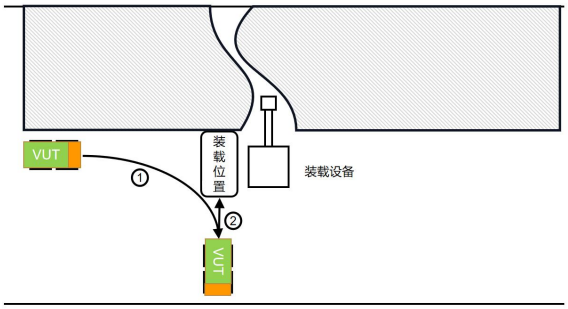

图 26 倒车装载对位示意图

5.2.28.2 测试方法

测试包括如下两部分：

——测试车辆沿一侧道路行驶不少于50 m后，到达目标装载位置，如图25所示。测试车辆在装载位置停留5 s后驶出装载位；

——测试车辆沿一侧道路行驶不少于50 m后，如图26所示倒车驶入装载位，测试车辆在装载位置停留5 s后驶出装载位。

5.2.28.3 通过要求

测试车辆通过上述测试时应满足如下要求：

——能够完成装载对位，除挡位切换时不应有停车动作；

——不与装载设备发生碰撞；

——停靠位置可完成装载；

——停留5 s后驶出装载位，起步时间不大于10 s。

5.3 云控平台测试

5.3.1 云控平台车辆数据管理能力测试

5.3.1.1 测试场景

测试场景分为云控平台和矿山作业面两部分：

——云控平台测试应在具备云端运营控制条件的服务器上进行操作；

——参与测试的车辆应部署在具备自动驾驶矿用车辆运行条件的矿山作业面上，参与测试的其他设备应部署在适合其体积和基本功能的同作业面区域内。

5.3.1.2 测试方法

在云控平台中接入不少于两台自动驾驶矿用车辆和一台装载设备，车辆与设备在作业面启动并回传数据到云控平台端，云端展示车辆和装载设备信息以及装载点和卸载点信息，对装卸载点进行增加、修改、删除等操作，查看车辆和设备的位置和速度信息。

5.3.1.3 通过要求

云控平台通过上述测试时应满足如下要求：

——能够添加车辆和设备到云控平台；

——能够展示车辆和设备的位置和状态信息；

——能够实时更新车辆和设备的位置和状态信息；

——能够增加，修改，删除装卸载点位。

5.3.2 云控平台故障诊断测试

5.3.2.1 测试场景

测试场景分为云控平台和矿山作业面辆部分：

——云控平台操作应在具备云端运营控制条件的服务器上进行测试；

——参与测试的车辆应部署在具备自动驾驶矿用车辆运行条件的矿山作业面上。

5.3.2.2 测试方法

在云控平台中接入不少于两台自动驾驶矿用车辆，车辆在作业面启动并回传数据到云控平台端，云端展示车辆的信息以及故障信息。若在矿用车辆人为制造故障，故障应至少包含如下条目：

——软件功能异常；

——定位失效；

——传感器失效；

——控制失效；

——网络失效；

——多车同时故障。

经过不少于5分钟后应对故障进行恢复。

5.3.2.3 通过要求

云控平台通过上述测试时应满足如下要求：

——能够在故障发生后不大于10秒的时间内展示相对应的故障种类；

——能够明确提示并区分故障车辆；

——能够记录故障发生时间和地点；

——故障恢复后，云控平台能够在不大于1分钟的时间内更新故障状态。

5.3.3 远程驾驶接管测试

5.3.3.1 测试场景

测试场景分为云控平台和矿山作业面两部分：

——云控平台操作应在具备云端运营控制条件的服务器上进行测试，在此基础上部署远程驾驶相关设备；

——参与测试的车辆应部署在具备自动驾驶矿用车辆运行条件的矿山作业面上。

5.3.3.2 测试方法

在云控平台中接入不少于两台自动驾驶矿用车辆，车辆在作业面启动并回传数据到云控平台端，云端展示车辆的信息以及故障信息。

在远程驾驶端对正常车辆进行远程接管，以及人为制造车辆故障，在远程驾驶端对故障车辆进行远程接管，接管应包含如下测试项目：

中国智能交通产业联盟

——无故障强行接管；
——软件功能异常时接管；
——定位失效时接管；
——传感器失效时接管。

5.3.3.3 通过要求

云控平台及远程驾驶系统通过上述测试时应满足如下要求：
——能够在故障提示后进行远程接管；
——能够对车辆进行远程控制，至少包括加速踏板、制动、转向、车厢举升、车厢下降等控制能力；
——控制指令和视频传输的平均时延不大于300 ms；
——视频图像最大时延不超过1000 ms，超过500 ms的时延不超过每分钟2次；
——车周图像或感知信息范围盲区不大于3 m。

5.3.4 车辆编组和调度测试

5.3.4.1 测试场景

测试场景分为云控平台和矿山作业面两部分：
——云控平台操作应在具备云端运营控制条件的服务器上进行测试；
——参与测试的车辆应部署在具备自动驾驶矿用车辆运行条件的矿山作业面上，至少两个作业面，每个作业面至少两台自动驾驶矿用车辆，并在每个作业面至少部署一台装载设备，并接入云控平台。

5.3.4.2 测试方法

在云控平台中接入不少于四台自动驾驶矿用车辆和两台装载设备，并分别编入两个组，与两个作业面进行绑定。车辆在作业面启动并回传数据到云控平台端，云端展示车辆的信息以及故障信息，在云端设置作业相关信息并启动作业任务。

作业进行到一定程度后(每车至少完成两轮装载、运输、卸载作业)，对车辆进行跨作业面调度，将A作业面组的一台车辆编入B作业面组，每车再次完成两轮作业任务后，将B作业面组的一台车辆编入A作业面组并继续作业，每车再次完成两轮作业任务后测试结束。

5.3.4.3 通过要求

云控平台通过上述测试时应满足如下要求：
——车辆可以进行编组作业，且相互协调不发生冲突；
——两作业面的作业信息，包括单车作业次数，编组运输总量，车辆状态，作业面工作状态可独立展示；
——车辆可进行跨作业面调度，并在调度后自行开展运输作业；
——在两次调度后，单车的每轮作业时长变化不大于10%。

5.3.5 地图维护测试

5.3.5.1 测试场景

测试场景分为云控平台和矿山作业面部分：
——云控平台操作应在具备云端运营控制条件的服务器上进行测试；
——参与测试的车辆应部署在具备自动驾驶矿用车辆运行条件并且具备双向双车道的矿山作业面上，并且部署装载设备。如图 27 所示。

中国智能交通产业联盟

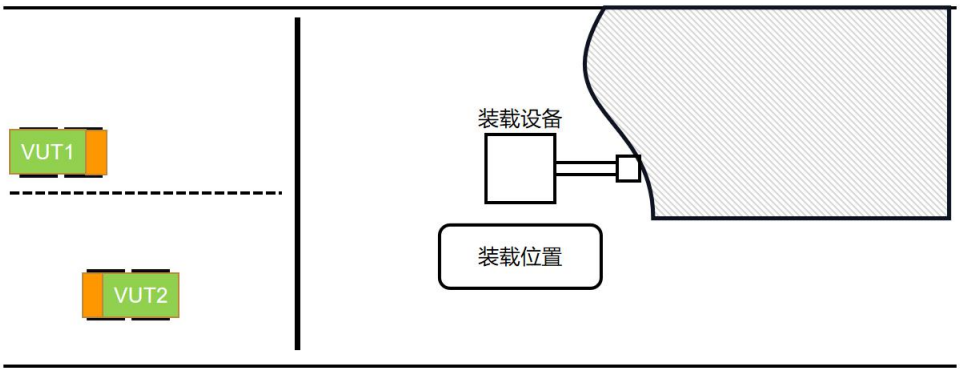

图 27 地图维护测试设备部署示意图

5.3.5.2 测试方法

在云控平台中接入不少于两台自动驾驶矿用车辆和一台装载设备，并与作业面进行绑定。车辆在作业面启动并回传数据到云控平台端，云端展示车辆的信息以及故障信息。在云端设置作业相关信息并启动作业任务。

每车至少完成两轮装载、运输和卸载作业后，对作业面现有地图进行修改。修改内容应至少包含如下内容：

——将运输路线的某一段改为双向单车道；

——将运输路线某段截停；

——缩小装载区运行空间；

——改变装载点(装载设备进行配合)；

——缩小卸载区运行空间；

——改变卸载点(挡墙配合)；

——改变运输路线。

每一条修改生效后自动驾驶矿用车辆继续运行，并记录矿卡是否根据地图的变化做出相应的响应行为。

5.3.5.3 通过要求

云控平台通过上述测试时应满足如下要求：

——云控平台能修改地图；

——地图修改生效后立即下发给车辆，车辆在下一次经过修改区域时做出反应，且不发生事故；

——地图发生变化时，即使车辆处于变化区域也不发生事故，必要时车辆自行停车确保安全；

——装卸载区地图发生变化时，车辆可按照变化运行且不超出地图边界，必要时车辆自行停车确保安全。

中国智能交通产业联盟

T/ITS XXXX.5-2021

中国智能交通产业联盟

中国智能交通产业联盟

标准

智慧矿山 矿用车辆自动驾驶协同作业系统 第5部分：测试方法

T/ITS XXXX.5—2021

北京市海淀区西土城路8号（100088）

中国智能交通产业联盟印刷

网址：http://www.c-its.org.cn

2021年12月第一版　2021年12月第一次印刷