

团 体 标 准

T/ITS 0147.1—2021

港口无人驾驶集装箱车技术要求

第 1 部分：驾驶场景和行驶行为

Technical requirements for port driverless container vehicle

Part 1: driving scenarios and driving behavior

目 次

2021-09-01 发布

2021-10-01 实施

中国智能交通产业联盟 发布

前言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语、定义和缩略语.....	1
4 一般要求.....	3
5 生产作业要求.....	4
6 驾驶场景及行驶行为要求.....	8
7 港口无人驾驶集装箱车与有人驾驶集装箱卡车混编运行场景和行驶行为要求.....	14

中国智能交通产业联盟

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（C-ITS）提出并归口。

本文件起草单位：中远海运港口有限公司、东风商用车有限公司、中移（上海）信息通信科技有限公司、厦门远海集装箱码头有限公司、交通运输部公路科学研究所、招商局检测车辆技术研究院有限公司、阿里巴巴（中国）有限公司、宁波大榭招商国际码头有限公司、北汽福田汽车股份有限公司、上海机动车检测认证技术研究中心有限公司、北京经纬恒润科技股份有限公司、上研智联智能出行科技（上海）有限公司等

本文件主要起草人：张达宇、李阳、敖婷、王敏、王沈元、刘庚、杨茜芝、于海滨、黄庭、杨志魁、林建喜、张锦阳、董轩、周炜、王戡、牛成勇、王琳、李飞、林麒、乐群凯、金大鹏、田俊涛、曹建永、费音、张林、吴临政、吴海飞、周安伍。

港口无人驾驶集装箱车技术要求

第 1 部分 驾驶场景和行驶行为

1 范围

本文件规定了港口无人驾驶集装箱车的一般要求、生产作业要求、单独运行场景及行驶行为要求、与有人驾驶集卡混编运行场景和行驶行为要求。

本文件适用于港口无人驾驶集装箱车的设计、开发、测试、使用和管理。

注：本文件中港口无人驾驶集装箱车包括港口牵引车和半挂车组合形式，以及平板式无驾驶舱运输车形式等。

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。

JTG B01 公路工程技术标准

JTS 168 港口道路与堆场设计规范

JTS 144-1 港口工程荷载规范

3 术语、定义和缩略语

3.1 下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

港口无人驾驶集装箱车 Port Driverless Container Vehicle (PDCV)

搭载先进的车载传感器、控制器、执行器等装置，并融合现代通信与网络技术，实现车与 X（人、车、路、云端等）智能信息交换、共享，具备复杂环境感知、智能决策、协同控制等功能，可实现“安全、高效、节能”行驶，适应港口生产作业环境，承担港区内集装箱水平运输功能，能够持续地执行部分或全部动态自动驾驶任务的运输车辆。

3.1.2

动态驾驶任务 Dynamic Driving Task

完成车辆驾驶所需的感知、决策和操作，包括但不限于：

- 控制车辆横向运动；
- 控制车辆纵向运动；
- 目标和事件探测与响应；
- 行驶规划；

注：不包括行程计划，目的地和路径的选择等任务。

3.1.3

智能车管平台 Intelligent vehicle management platform

智能车管平台负责和码头生产管理系统对接，将调度指令传递给港口无人驾驶集装箱车实现智能化业务运营，并将港口无人驾驶集装箱车的实时工作状态及智能驾驶信息回传给码头生产管理系统进行动态检查，智能车管平台能自动判断港口无人驾驶集装箱车异常状态，根据异常状态的紧急程度进行不同程度的预警和干预。

3.1.4

自动驾驶系统 Autonomous Driving System

能够持续地执行部分或全部动态驾驶任务和/或执行动态驾驶任务接管的硬件和软件所共同组成的系统。

3.1.5

调度员 Dispatcher

在港口无人驾驶集装箱车无驾驶员操作的条件下，通过激活驾驶自动化系统以实现车辆调度服务但不执行动态驾驶任务的用户。

注：装备有4级和5级驾驶自动化功能，且其设计运行范围覆盖整个行程的车辆才可被调度。如果驾驶自动化系统未规划线路，调度员还需要指定目的地。

3.1.6

接管请求 Request to Intervene

自动驾驶系统请求用户或调度员迅速执行动态驾驶任务接管的通知。

3.1.7

指令 Instruction

调度员输入信号、码头生产管理系统调度任务下达、车管平台下达干预信息，测试车辆通过感知、地图等信息自主发出的信号。

3.1.8

引桥式码头 Pier with approach trestle

前沿装卸平台通过引桥或再加引堤与后方岸线连接的码头。

3.1.9

满堂式码头 Full layout of the wharf

前沿装卸平台与后方堆场连续布置的码头。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

PDCV: 港口无人驾驶集装箱车 (Port Driverless Container Vehicle)

TOS: 码头生产管理系统 (Terminal Operating System)

4 一般要求

4.1 港口无人驾驶集装箱车系统应由码头生产管理系统、设备调度控制管理系统、车管平台、车路协同系统、PDCV 等组成。见图 1。

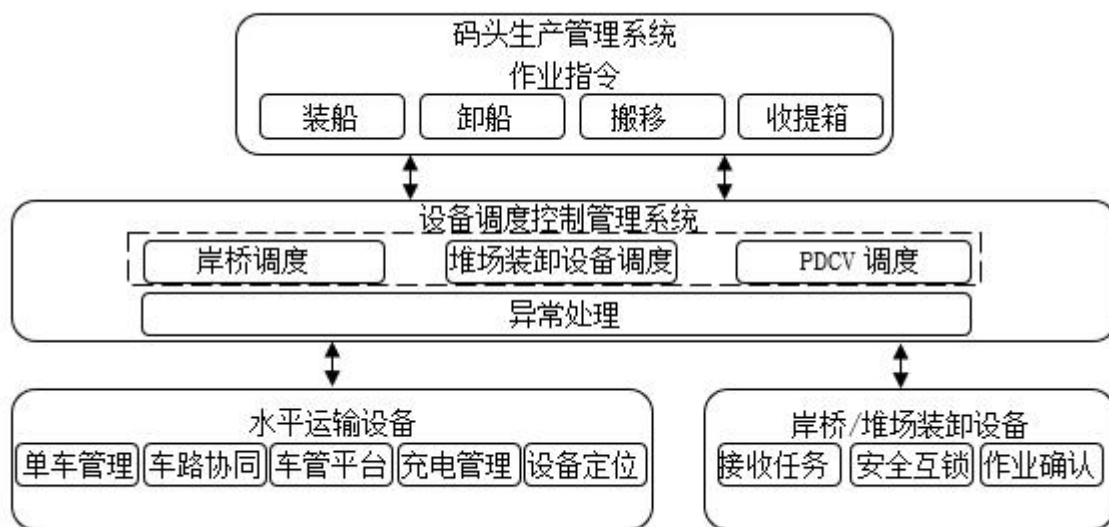


图 1 港口无人驾驶集装箱车系统架构图

4.2 码头生产管理系统将作业指令发送给设备调度控制管理系统，设备调度控制管理系统协同岸桥、堆场装卸设备和 PDCV 信息后，形成调度指令发送给智能车管平台综合车路协同等系统信息，完成 PDCV 路径规划，并下发指令给 PDCV 实现智能化业务运营。

4.3 港口无人驾驶集装箱车（PDCV）调度控制管理系统是组成设备调度控制管理系统的水平运输功能模块，功能应根据码头具体生产环境和配置确定。

- a) PDCV 调度控制管理系统应包括充换电管理、交通管理、行车路线规划管理、冲突管理、缓冲区管理、作业区域锁定管理、与岸桥和堆场装卸设备的协同管理、通信层级管理、异常恢复管理等；
- b) PDCV 调度控制管理系统应实现 PDCV 全程监控，实时显示 PDCV 所在的位置，并可以轨迹回放，停车地点、停车时间及运行速度等，管理控制 PDCV 执行码头生产管理系统下发的任务；
- c) PDCV 调度控制管理系统应采用智能算法，包含调度算法、行车路线规划算法等。调度算法对于 TOS 下达的作业任务和需求，根据 PDCV 设备状态，进行智能调度与分配。行车路线规划算法对于 PDCV 在确认作业任务后，应具备根据任务信息及相关条件现在规划处最优路线方案。

4.4 智能车管平台应具备远程实时监控，同相关控制上位系统的数据交互及单车内部管理功能，主要包括单车定位功能、控制功能、监控功能、维修记录、操作记录、故障辅助维修功能、数据保护功能、远程登录功能、KPI 指标统计功能等。

4.5 PDCV 应满足港区道路堆场运行区域荷载要求，应符合 JTS 144-1《港口工程荷载规范》、JTS 168《港口道路与堆场设计规范》和 JTG B01《公路工程技术标准》相关要求。

5 生产作业要求

5.1 集装箱码头装卸工艺系统包括船舶装卸、水平运输、堆场装卸等主要环节，工艺流程包括卸船进堆场、出堆场装船、外集卡提箱、外集卡送箱、堆场内转堆、集装箱查验等。PDCV 主要进行港内水平运输使用。

5.2 码头生产管理系统应具备计划信息与设备调度控制管理系统信息之间的相互协同和实时交互功能。

5.3 设备调度控制管理系统应根据设备特性和技术发展及现状包含设备实时调度、设备自动化控制、安全作业互锁及远程控制等管理功能，应具有人工介入接管机制，人工介入时系统应具备相关安全控制功能。

5.4 设备调度控制管理系统应保证与码头生产管理系统之间、调度与控制系统之间、设备之间的通信安全，并应满足相应的网络带宽要求。PDCV 调度控制管理系统与 PDCV 之间的通信应采用无线通信方式，并宜设置两条及以上通信链路。

5.5 设备调度控制管理系统中的各种作业指令和状态信息应保证系统内部的有效系统和与装卸任务之间的有效协同，并应具备逻辑上的一致性、交互上的实时性及相互间衔接的合理性。

5.6 设备调度控制管理系统应具备保证整体作业流程的有效运转，在局部环节发生变换与调整后后续环节应具备适应变化与调整的功能。

5.7 PDCV 单车的调度响应时间应小于 3s，单车系统与 PDCV 调度控制管理系统的数据交互应小于 1s，单车远程控制终端与 PDCV 本身的数据交互应小于 30ms。单车远程操控使用的工业视频，时延应低于 250ms，监控摄像的分辨率宜在 1080P 及以上。

5.8 PDCV 应适用于引桥式码头和满堂式码头。引桥式码头的引桥口不得放置舱盖、扭锁箱等影响 PDCV 安全行驶。

5.9 PDCV 宜采用清洁能源，并应根据其动力形式采用合理的能源补充方式。纯电力驱动的港 PDCV 可根据码头营运管理要求采用更换电池或整机充电的方式。

5.10 PDCV 与有人驾驶集装箱卡车的混编交通应满足相关技术和政策法规的要求。

5.11 PDCV 的配置数量应根据单个循环水平运输距离、船舶装卸设备数量等综合确定。岸桥与 PDCV 的配置数量比宜为 1: (4~6)。

5.12 集装箱码头通过港机设备对 PDCV 进行集装箱装卸转运作业，PDCV 应停在装卸作业车道，且需要根据作业任务进行 PDCV 和港机设备的作业配合精确对位，不同的作业任务有不同的作业模式和位置，装卸模式分为垂直装卸和侧面装卸。

- a) 岸桥和场桥对 PDCV 采用垂直装卸模式，PDCV 精确对位岸桥或堆场贝位后，从 PDCV 上方进行装卸作业；PDCV 载有 2 个 20 英尺集装箱时，PDCV 根据任务指令按双箱同时作业进行定位，或前后箱分别作业定位；
- b) 堆高机和正面吊等设备采用侧面装卸模式。卸箱作业时，待堆高机或正面吊从堆场中倒车出来在等待作业位置时，PDCV 载箱行驶至堆场作业贝位后，堆高机或正面吊从 PDCV 侧面进行卸箱作业，PDCV 卸箱后需前行离开作业贝位，堆高机或正面吊进入堆场进行集装箱堆叠；装箱作业时，PDCV 在作业贝位前留有安全距离等待，堆高机或正面吊从堆场贝位抓箱并倒车出来在等待作业位置后，PDCV 前行至堆场作业贝位，堆高机或正面吊将集装箱放置在 PDCV 上，待堆高机或正面吊回到等待作业位置时，PDCV 载箱前行离开作业贝位。PDCV 载有 2 个 20 英尺集装箱时，PDCV 根据任务指令分别进行前后箱作业，每个箱作业都需要避让堆高机或正面吊进出堆场作业通道，PDCV 在设定的安全位置等待。堆高机或正面吊进行侧面装卸模式作业时，PDCV 与堆场作业贝位对位偏差可适当放宽。

5.13 PDCV 进行水平运输时，根据技术成熟度可采用时间和/或空间相对隔离方式进行区域内运行。

5.14 PDCV 在港区内通过主干道的时速宜 $\leq 35\text{km/h}$ ，通过船边岸桥下道路的时速宜 $\leq 10\text{km/h}$ ，通过堆场内道路的时速宜 $\leq 15\text{km/h}$ ，通过场内道路的转弯时速宜 $\leq 10\text{km/h}$ 。

5.15 港口无人驾驶集装箱车应行驶在既定车道线内，对位停车定位精度航向误差 $\leq \pm 0.3^\circ$ ，纵向行车方向偏差 $\leq \pm 5\text{cm}$ ，横向误差 $\leq \pm 5\text{cm}$ ，一次停车定位准确率 $\geq 90\%$ 。

5.16 动态缓冲区和停车区管理要求

5.16.1 港区内应设置 PDCV 停车区，用于 PDCV 无任务时停放使用，宜设置在码头前沿、辅建区等，需确保存放安全。PDCV 在接到任务指令时可直接从停车区出发进行生产作业。

5.16.2 港区内应在引桥口、交叉路口、堆场出入口、岸桥后轨、充换电等区域附近设置动态缓冲区，用于 PDCV 等待任务、预判拥堵等情况时，进行临时停车。缓冲区在停车时应尽量减少对交通流的影响，在不停车时恢复交通功能。

5.16.3 PDCV 在港机设备跨内或侧面装卸堆场作业车道繁忙，转弯无法整车进出堆场时，应在堆场出入口缓冲区停车等待，避免 PDCV 横停在主干道，影响交通流。

5.16.4 PDCV 在端部装卸堆场作业车道繁忙时，应在端部作业区倒车车道缓冲区等待，避免在行驶车道上影响作业区车辆进出和通行。

5.16.5 PDCV 受突发异常事件影响，无法到达目的堆场位置时，应能到达就近缓冲区停车等待，避免停车在主干道。

5.16.6 PDCV 判断无法立刻进入维修区、充换电区域时，应在就近缓冲区停车等待。

5.16.7 PDCV 判断无法立刻进入岸桥下指定车道进行作业排队，应在岸桥后轨缓冲区等待，避免堵塞岸桥下车道。

5.16.8 PDCV 在等待任务时，应就近在不影响交通的缓冲区停车等待，PDCV 进入待机状态。

5.17 充电/换电管理要求

5.17.1 智能车管平台应有充/换电设施设备设置及管理功能模块，具备维护充电桩位置、充电桩状态、充电电流、充电剩余时间或换电站相应信息数据功能，并能与 PDCV、充/换电站进行通讯功能，实现 PDCV 连续生产运行、电池寿命长、能源损耗小的目标。

5.17.2 车管平台充/换电功能应基于 PDCV 任务管理和续航能力判断充/换电任务分配、充电桩选择策略。

5.17.3 充/换电站应有自动或手动充/换电、充/换电实时电流、电压监测和调整、异常报警、故障切断等功能，能与车管平台、PDCV 进行通讯功能。

5.17.4 PDCV 应有电池管理功能，实时监测电池电量、估算剩余时间和行驶里程、统计能源消耗、发出充/换电请求、电池异常警示、故障切断电源等功能，能与车管平台、充/换电站进行通讯。

5.18 PDCV 在岸桥下行驶可变换车道，但不应连续变换车道；在多台岸桥并靠作业时，PDCV 在岸桥关路下不宜通行；PDCV 进出堆场时，应与集装箱堆垛和港机设备预留有足够安全距离，避免刮碰；PDCV 在堆场首尾端部贝位作业时，应在车身完全进入堆场后才与港机设备交互进行装卸作业，避免影响交通和发生刮碰事故。

5.19 PDCV 在岸桥提箱和堆场交提箱作业为船舶装卸流程作业，在此流程下 PDCV 需要跟进任务类型，进行相应的车、箱、位匹配运输作业。PDCV 进行船舶装卸作业调度流程见图 2。

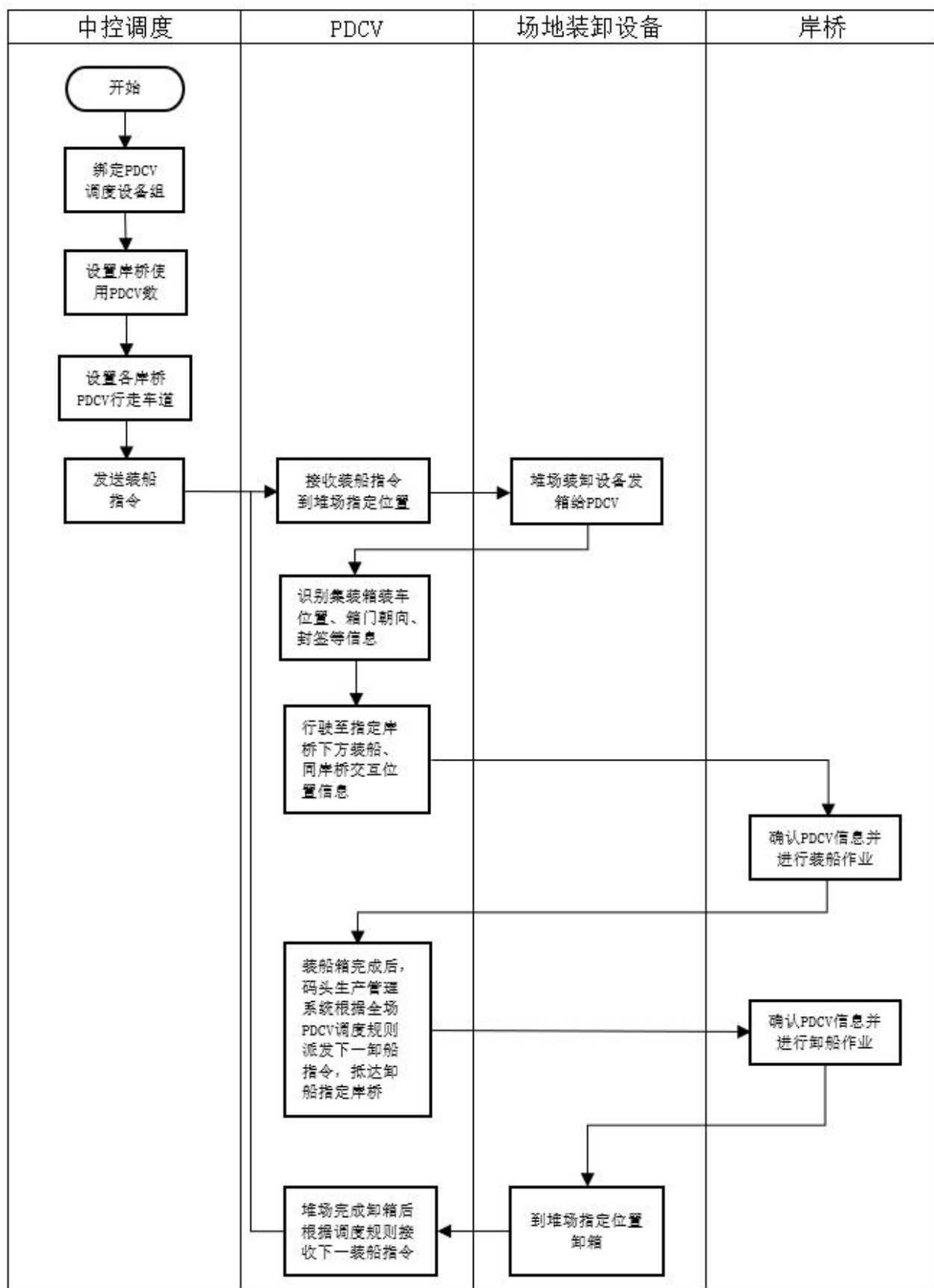


图 2 港口无人驾驶集装箱车进行船舶装卸作业调度流程

6 驾驶场景及行驶行为要求

6.1 水平运输场景

6.1.1 两车跟车直行：PDCV02 跟随 PDCV01 直行，最小间距应在安全距离。见图 3。

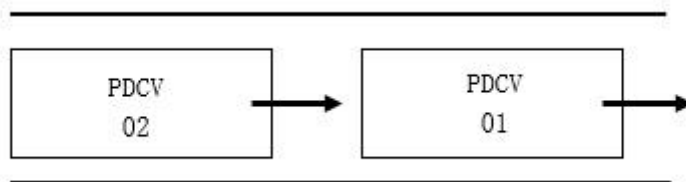


图 3 两车跟车直行

6.1.2 两车并行转弯：PDCV01 转弯应不影响 PDCV02 的运行。见图 4。

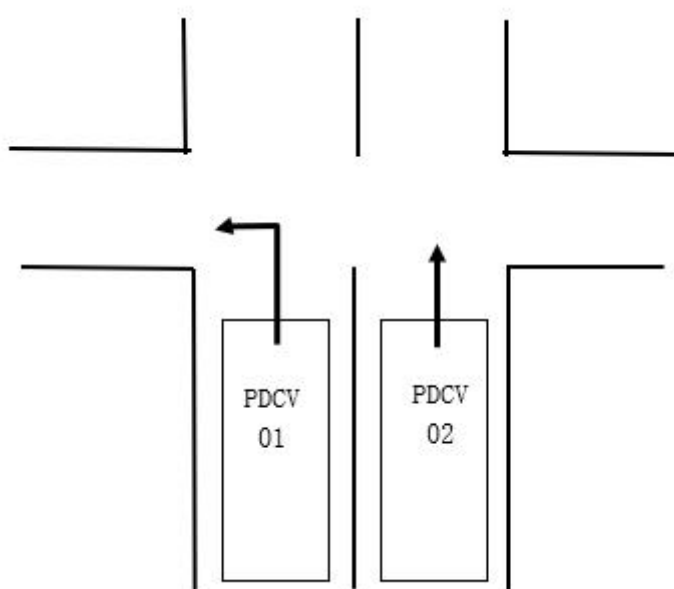


图 4 两车并行转弯

6.1.3 跟车变道超车：两车按照原目标方向运行进行变道超车。PDCV02 在转弯和直行阶段应不发生碰撞。见图 5。

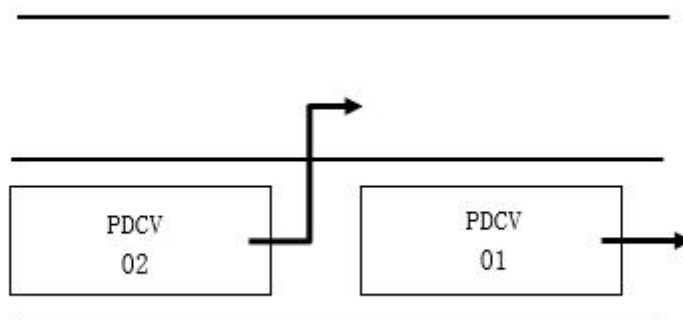


图 5 跟车变道超车

6.1.4 两车并行超车：PDCV02 应在转弯安全距离之外开始转弯到另外一条车道。见图 6。

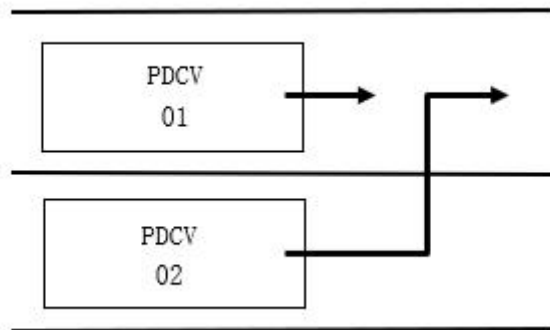


图 6 两车并行超车

6.1.5 两车垂直交汇：两车应合理避让，按照原目标方向运行。见图 7。

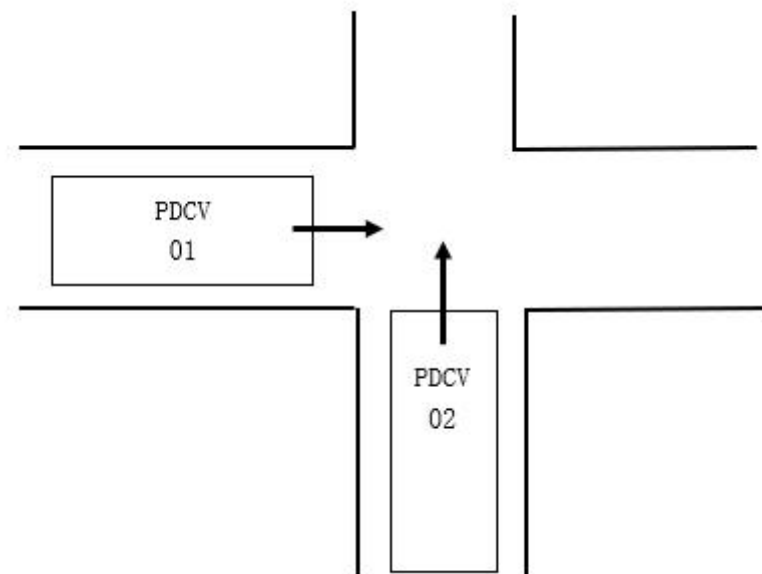


图 7 两车垂直交汇

6.1.6 两车相交相遇：两车应合理避让,按照原目标方向运行。见图 8。

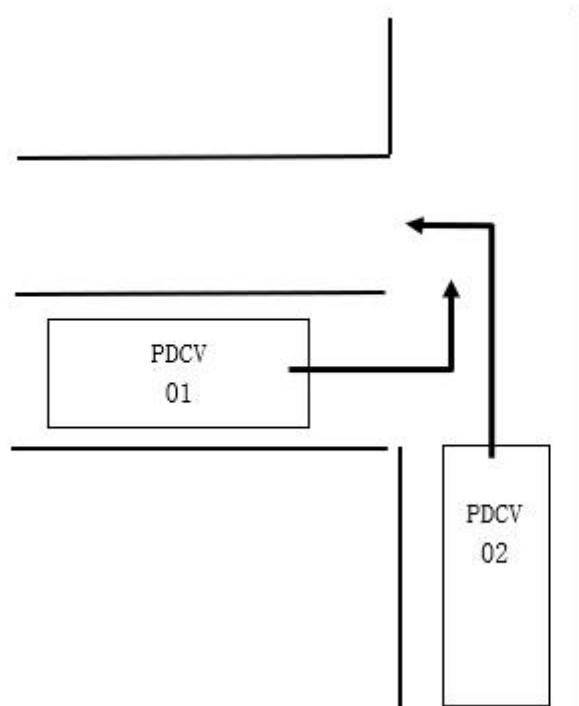


图 8 两车相交相遇

6.1.7 三车或多车跟车直行：PDCV01 停止以后，PDCV02 与 PDCV01，PDCV03 与 PDCV02 之间的距离应保持在安全距离。见图 9。

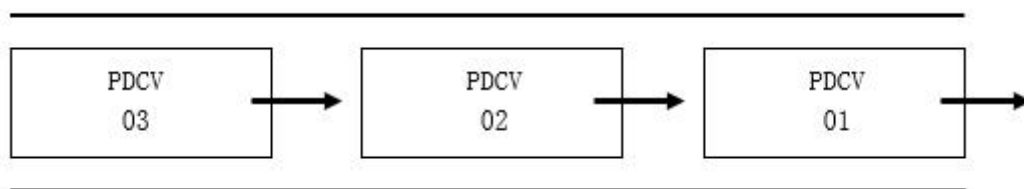


图 9 三车或多车跟车直行

6.1.8 三车“T”字相遇 1：PDCV02 应在等待区等待，PDCV03 和 PDCV01 应合理避让，PDCV02 在 PDCV01 离开后再进入端部交接区。见图 10。

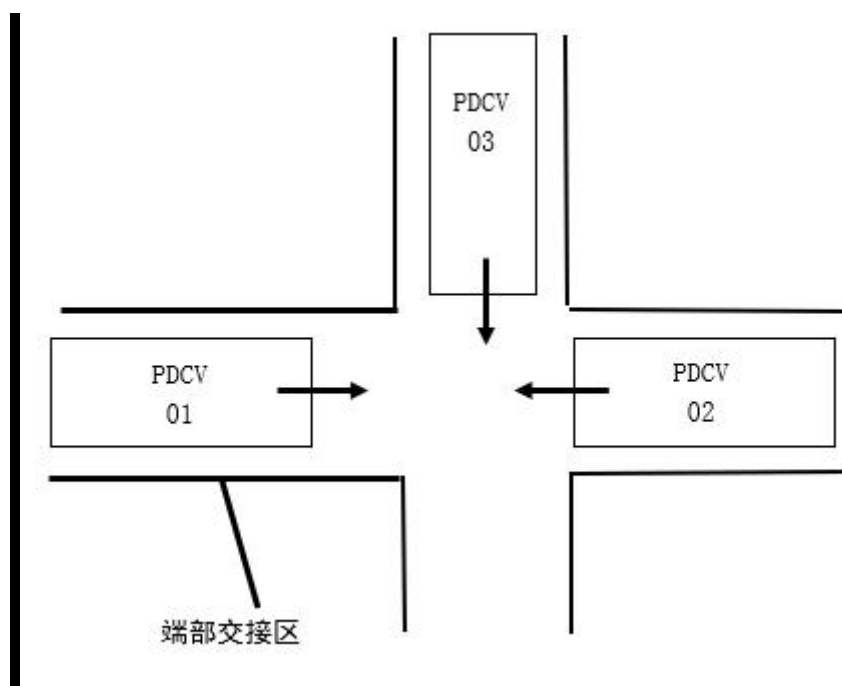


图 10 三车“T”字相遇 1

6.1.9 三车“T”字相遇 2：根据作业任务指令，应合理避让，PDCV02 在 PDCV01 离开后再进入端部交接区。见图 11。

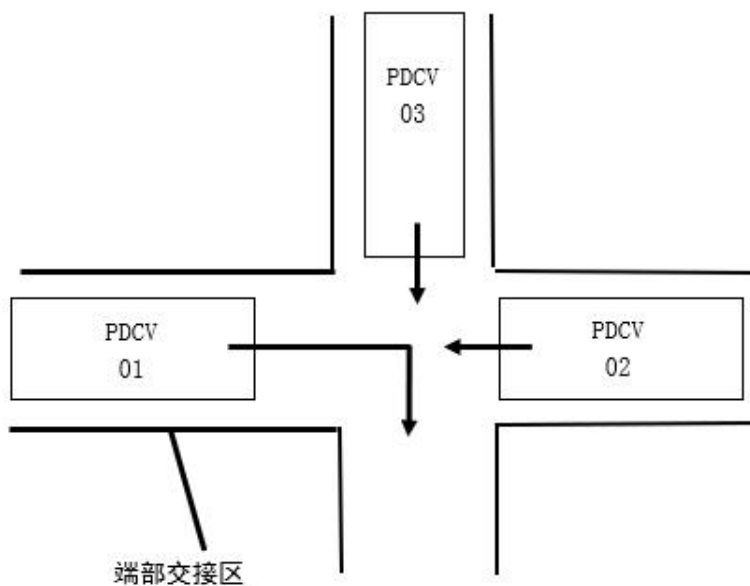


图 11 三车“T”字相遇 2

6.2 船舶作业场景

6.2.1 PDCV 应根据 TOS 发送的指令，抵达船舶旁岸桥下方通行车道相应位置。

6.2.1.1 PDCV 行走方向应根据船舶方向而定，应从船尾进，船头出。见图 12。

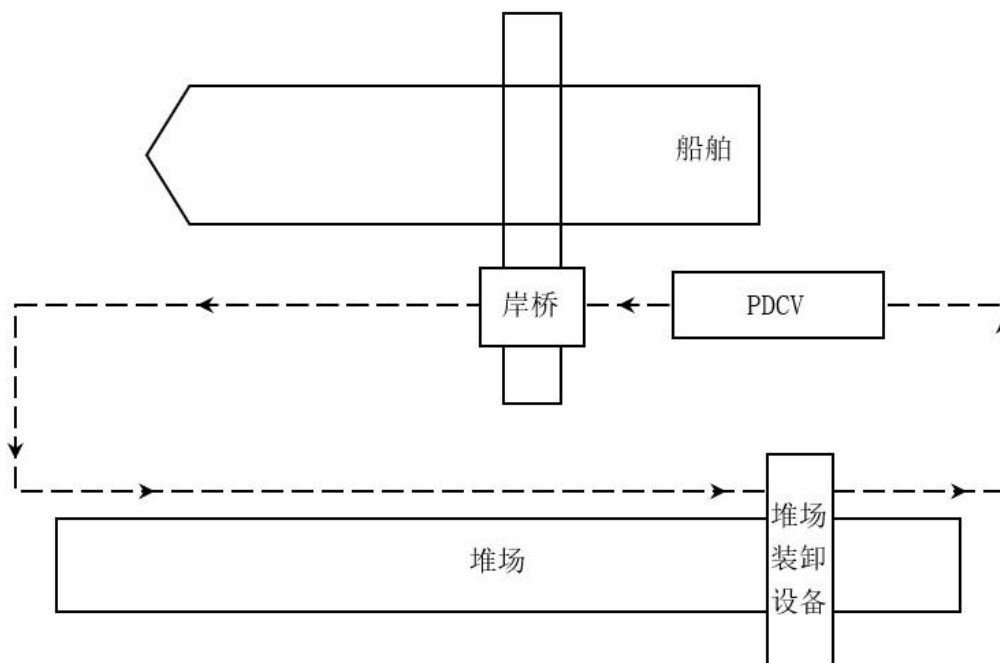


图 12 港口无人驾驶集装箱车船舶作业场景

6.2.1.2 PDCV 应根据任务指令，可在岸桥跨距内所有装卸车道上，都能进行精确停车对位，实现与岸桥装卸作业。

6.2.1.3 PDCV 应能与岸桥作业任务指令交互，判断无人驾驶集卡承载集装箱或卸载集装箱任务已完成，确保安全，才能行驶离开装卸车位。

6.2.2 船舶作业行驶要求

6.2.2.1 前车作业完成，后车应跟随自动停至作业位置。

6.2.2.2 PDCV 应能在动态变化的拆装扭锁工位停止，拆装扭锁完成后继续行驶至目标位置。

6.3 堆场作业场景

6.3.1 PDCV 应根据 TOS 发送的任务指令，在堆场箱区按照港区规定的行驶规则进行行驶。

6.3.1.1 PDCV 根据指令应停到指定车道位置对准集装箱作业贝位，堆场装卸设备识别 PDCV 后进行装卸集装箱作业。见图 13。

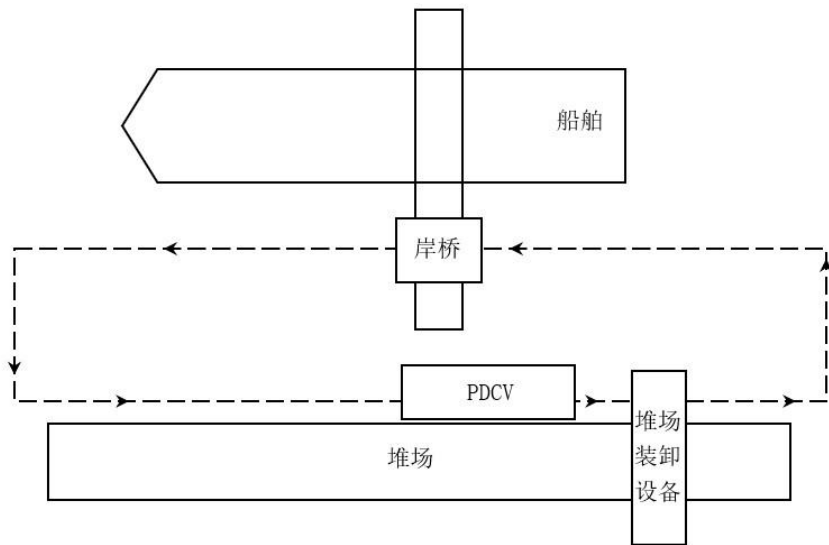


图 13 港口无人驾驶集装箱车堆场作业场景

6.3.1.2 PDCV 应能实现与堆场装卸设备作业任务指令交互，判断 PDCV 承载集装箱或卸载集装箱任务已完成，确保安全，才能行驶离开装卸车位。

6.3.1.3 PDCV 根据指令应停到指定车道位置对准集装箱作业贝位，堆场装卸设备识别 PDCV 后进行装卸集装箱作业，PDCV 进行堆场内搬移作业。见图 14。

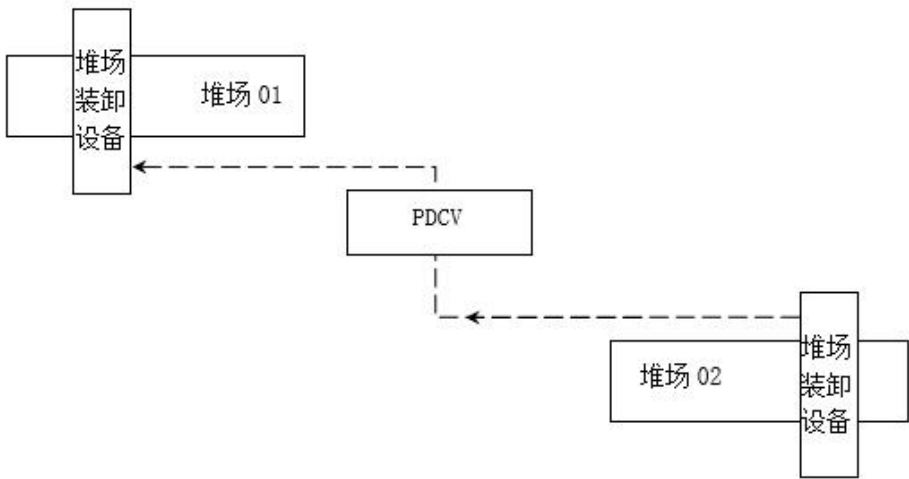


图 14 港口无人驾驶集装箱车堆场内搬移作业场景

6.3.2 堆场作业行驶要求

6.3.2.1 前车作业完成，后车应跟随自动停至作业位置。

6.3.2.2 堆场装卸设备根据不同的装卸模式，PDCV需要进行适应性设定交接作业模式，以满足垂直装卸和侧面装卸需求。

7 港口无人驾驶集装箱车与有人驾驶集装箱卡车混编运行场景和行驶行为要求

7.1 PDCV 与有人驾驶集装箱卡车混编运行应以安全为首要原则，根据 PDCV 系统的技术水平程度选择实施。

7.2 PDCV 与有人驾驶集装箱卡车在初期阶段宜采取时间和/或空间上隔离的方式进行独立运行。

7.3 PDCV 系统在技术程度和政策法规达到要求后，可实施 PDCV 和有人驾驶集装箱卡车混编运行。

7.4 港区内设置有交通灯、道闸等交通管控设施的，PDCV 应与路侧设施进行信息交互，遵循交通设施指挥。

7.5 有人驾驶集装箱卡车在进入 PDCV 运行区域时，TOS、PDCV 调度控制管理系统、车路协同系统等宜实时采集港区内所有设备、车辆位置、速度、任务等信息，在 PDCV 调度控制管理系统进行综合调度，避免任务冲突。

7.6 PDCV 应能通过 PDCV 调度控制管理系统、车管平台和单车本身对运行环境进行实时感知、预判，综合实现复杂交通工况下的安全运行。

7.7 PDCV 运行时，应与港区内设备、车辆、行人和设施等建立信息交互、感知，保障安全运行。

7.8 PDCV 与有人驾驶集装箱卡车交互场景。

PDCV 与有人驾驶集装箱卡车发生交互，原则上 PDCV 应避让有人驾驶集装箱卡车。在 PDCV 确定安全距离足够的情况下，PDCV 可按既定路线行驶。

7.8.1 PDCV 右转 1：PDCV 应避让有人驾驶集卡，有人驾驶集卡 01 通过后再右转，转弯不能影响有人驾驶集卡 02 正常行驶。见图 15。

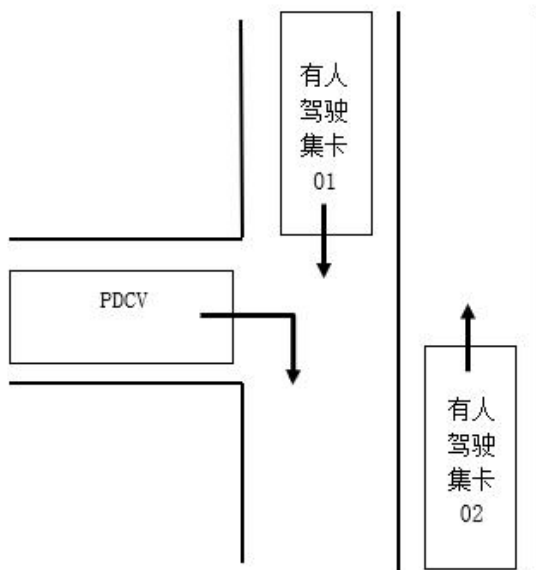


图 15 PDCV 右转 1

7.8.2 PDCV 右转 2: PDCV 应避让有人驾驶集卡, 有人驾驶集卡 02 通过后再右转, 转弯不能影响有人驾驶集卡 01 正常行驶。见图 16。

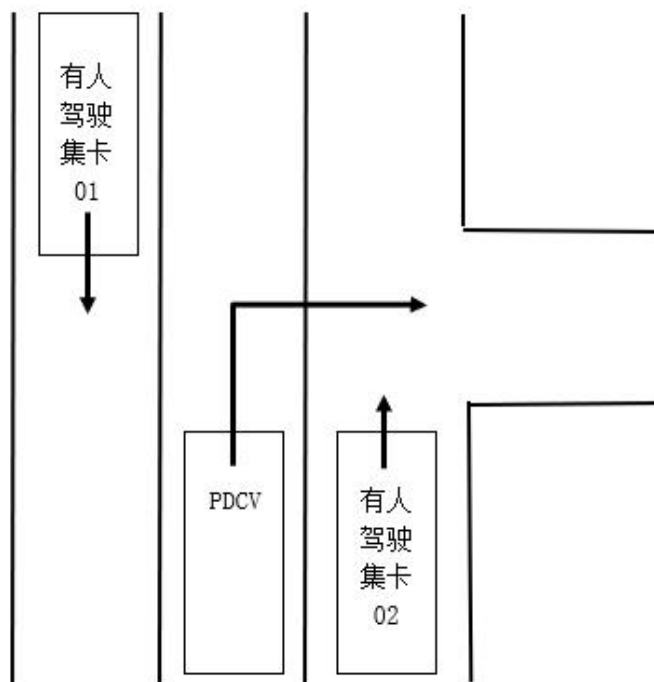


图 16 PDCV 右转 2

7.8.3 PDCV 右转 3: PDCV 应避让有人驾驶集卡, 有人驾驶集卡 01 通过, 有人驾驶集卡 02 右转后 PDCV 再右转。见图 17。

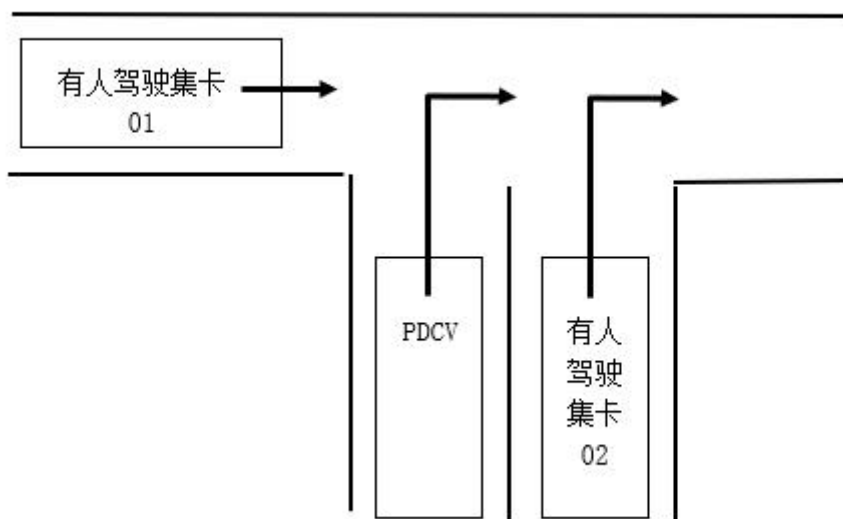


图 17 PDCV 右转 3

7.8.4 PDCV 左转 1: PDCV 应避让有人驾驶集卡, 有人驾驶集卡 01 和有人驾驶集卡 02 通过后 PDCV 再左转。见图 18。

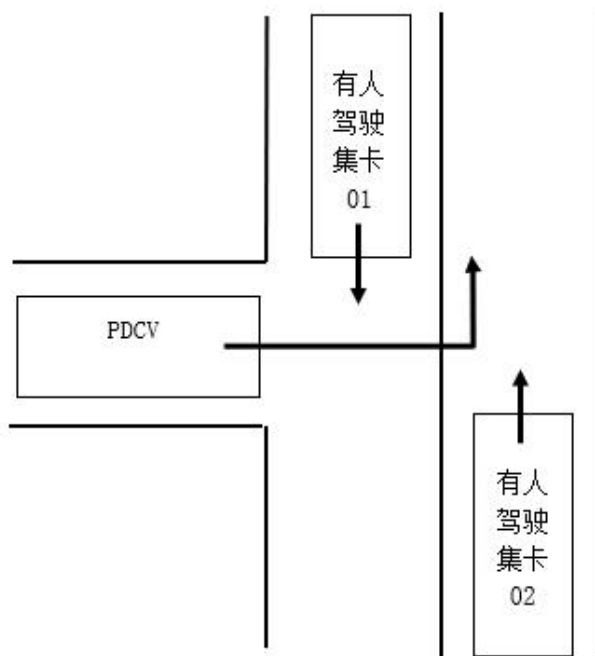


图 18 PDCV 左转 1

7.8.5 PDCV 左转 2: PDCV 应避让有人驾驶集卡, 有人驾驶集卡 01 和有人驾驶集卡 02 通过后 PDCV 再左转。见图 19。

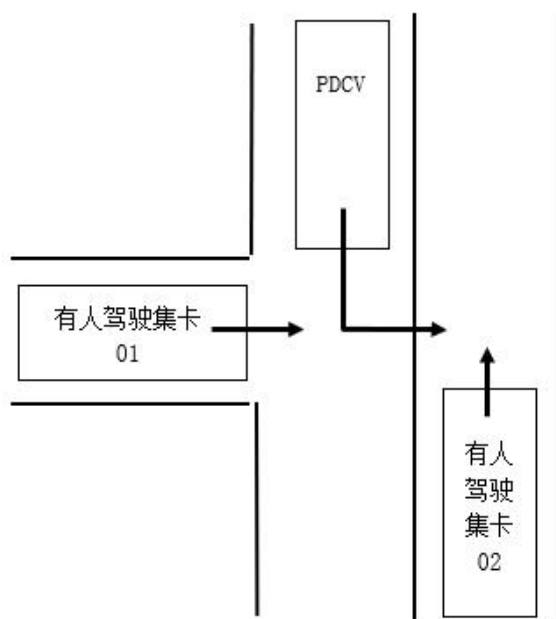


图 19 PDCV 左转 2

7.8.6 PDCV 左转 3: PDCV 应避让有人驾驶集卡, 有人驾驶集卡 01、有人驾驶集卡 02 和有人驾驶集卡 03 通过后 PDCV 再左转。见图 20。

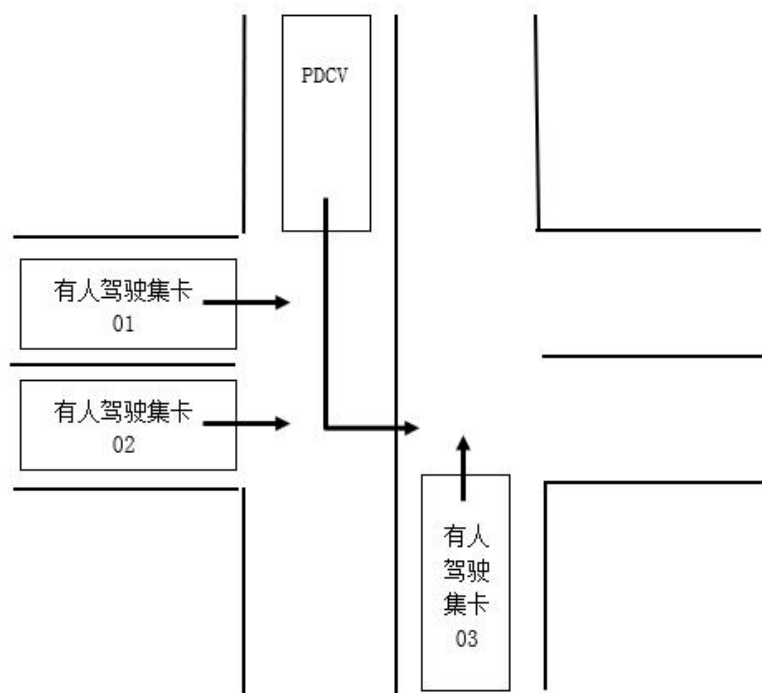


图 20 PDCV 左转 3

7.8.7 PDCV 直行: PDCV 应避让有人驾驶集卡, 有人驾驶集卡 01 和有人驾驶集卡 02 通过后 PDCV 再直行。见图 21。

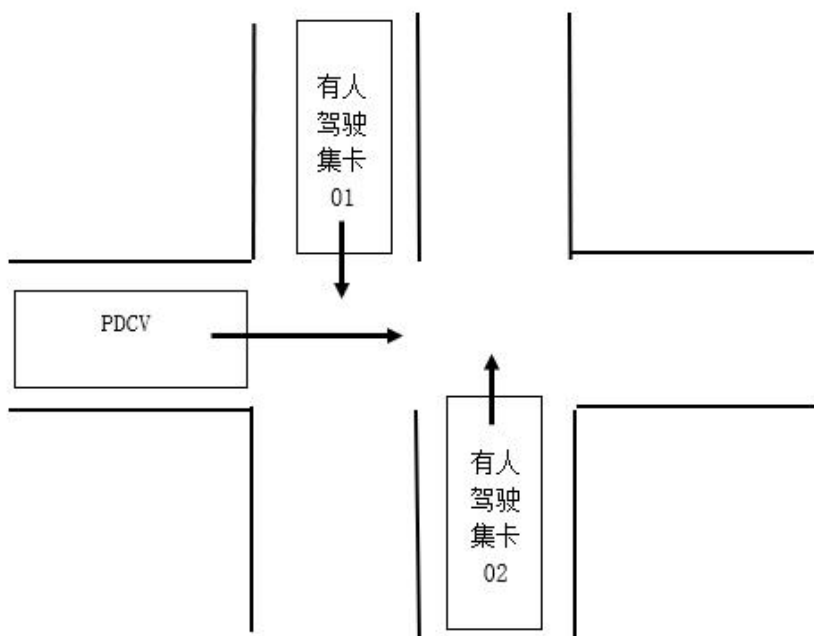


图 21 PDCV 直行

7.8.8 PDCV 超车：PDCV 确定安全距离足够的情况下，PDCV 应在转弯安全距离之外进行超车，过程中与有人驾驶集卡 01 和有人驾驶集卡 02 均保持安全距离。见图 22。

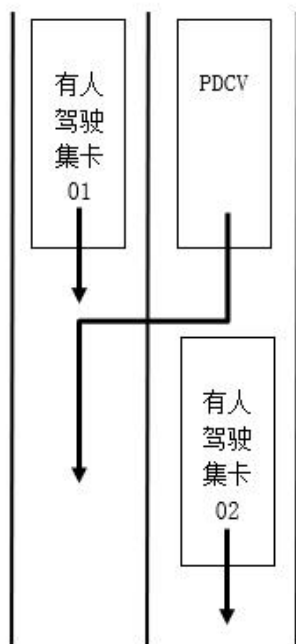


图 22 PDCV 超车



中国智能交通产业联盟

标准

港口无人驾驶集装箱车性能和测试方法

第 1 部分：驾驶场景和行驶行为要求

T/ITS 0147.1—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 9 月第一版 2021 年 9 月第一次印刷