

团体标准

T/ITS 0198.2—2022

智慧矿山 矿用车辆自动驾驶协同作业系统

第2部分：车辆技术要求

Intelligent mining vehicle automated driving cooperative operation system—
Part 2: Vehicle technical requirements

2022-10-12 发布

2022-10-12 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 车辆作业要求 1

5 车辆技术要求 2

 5.1 线控系统要求 2

 5.2 标定要求 5

 5.3 感知要求 5

 5.4 定位要求 6

 5.5 控制要求 6

 5.6 安全要求 6

6 运维要求 8

 6.1 维护要求 8

 6.2 稳定性要求 8

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。

T/ITS 0198《智慧矿山 矿用车辆自动驾驶协同作业系统》分为五个部分。

- 第1部分：总体技术要求；
- 第2部分：车辆技术要求；
- 第3部分：云控平台技术要求；
- 第4部分：信息交互要求；
- 第5部分：车辆和云控平台测试方法。

本文件为T/ITS 0198的第2部分。

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：华能伊敏煤电有限责任公司、北京百度智行科技有限公司、中国信息通信研究院、郑州信大捷安信息技术股份有限公司、中国联合网络通信集团有限公司、阳泉领航科技产业有限公司、东南大学、北京踏歌智行科技有限公司、上海淞泓智能汽车科技有限公司、山西省智慧交通研究院有限公司、同济大学、东风商用车有限公司、长沙智能驾驶研究院有限公司、北京建筑大学、北京崧珀科技有限公司、北京航空航天大学

本文件主要起草人：彭伟、魏圣杰、苏昊天、程周、路宏、沈洋、咸金龙、吴榕真、郭宇琦、贾元辉、王云鹏、刘常康、孙鹏、刘献伦、乔斌亮、廖臻、张健、张尊君、陶晓、毕欣、吴宏涛、孟颖、付源翼、杨顺、陈化荣、林晓伯、黄鹤、童旋、王章宇

智慧矿山 矿用车辆自动驾驶协同作业系统

第2部分：车辆技术要求

1 范围

本文件规定了智慧矿山用自动驾驶车辆的技术要求和运营要求。
本文件适用于具备3级及以上自动驾驶能力的N3类车辆，其他类型车辆可参照执行。

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 18336.3 信息技术 安全技术 信息技术安全评估准则 第3部分：安全保障组件
GB/T 32918.2 信息安全技术 SM2椭圆曲线公钥密码算法
GB/T 34571 轨道交通 机车车辆布线规则
GB 40050-2021 网络关键设备安全通用要求

3 术语和定义

T/ITS 0198.1界定的术语和定义适用于本文件。

4 车辆作业要求

矿用自动驾驶车辆与挖掘机进行装载和在推土机维护的卸载点进行装卸载作业的流程如图1所示，其他装卸载场景参照执行，且作业过程符合如下要求：

- 矿用自动驾驶车辆按顺序等待卸载矿物，且前后车距不小于15 m；
- 自动驾驶车辆能与挖掘机协同作业，并自动识别装车挖掘机的型号及其作业范围。在未得到进车信号的情况下，不应进入挖掘机作业范围之内；
- 自动驾驶接收到进车信号后，车辆自主运行到挖掘机旁的装载位，等待装载；
- 自动驾驶车辆应等待挖掘机发出装载完成准许离开装载区的指令后再启动前往卸载区；
- 自动驾驶车辆运输物料至卸载目的地后，自主对位完成物料卸载动作。卸载物料时车辆应垂直车挡，不与车挡碰撞；
- 自动驾驶车辆卸载剥离物过程中，应能主动识别与推土机之间的距离。行驶过程中应始终保持前后距离不小于20 m，左右距离不小于7 m。

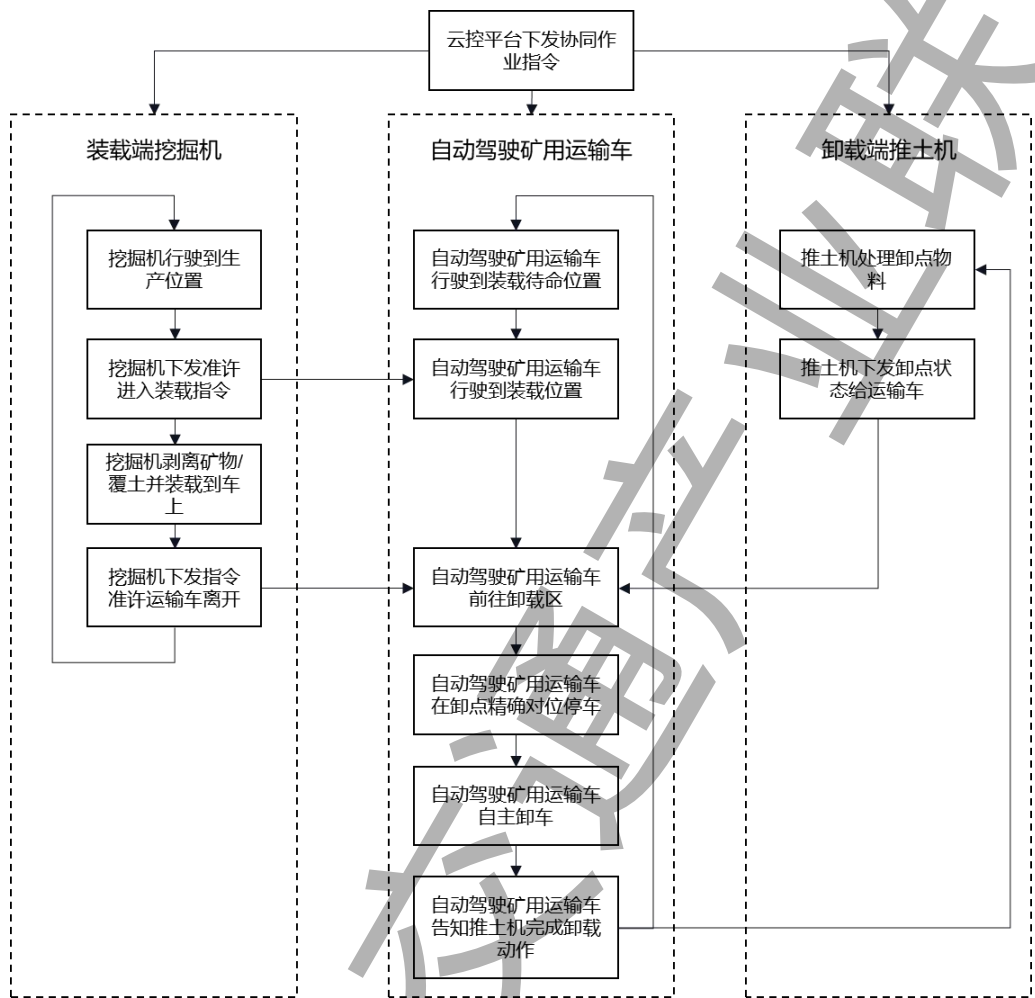


图 1 矿用自动驾驶车辆作业流程

5 车辆技术要求

5.1 线控系统要求

5.1.1 性能要求

5.1.1.1 转向性能

5.1.1.1.1 线控转向控制性能应符合表 1 的要求。

表 1 线控转向控制性能要求

子功能	信号	描述	性能要求	信号分辨率	指令周期	响应延时°
转向控制	使能	总线控制转向系统从人工驾驶状态切换到自动驾驶状态的标志位	—	—	≤20 ms	≤100 ms

表 1 线控转向控制性能要求 (续)

子功能	信号	描述	性能要求	信号分辨率	指令周期	响应延时 ^c
转向控制	与前轮转角呈线性关系的信号值	总线控制转向系统转动的目标角度	最大转动角度设置范围 θ_{MAX} : 最大超调角 $\Delta \theta_1^d$: [0, 6]:0.6; [6, 66]: $\min[2, \theta_{target} * 10\%]$; [66, θ_{MAX}]: $\min[3, \theta_{target} * 3\%]$; 最大角度误差 $\Delta \theta_2^e$:0.6 deg 转动执行时间 ΔT_2^f : $\max(200, 1.25 * \theta_{target} / \theta'_{target})$ ms 超调时间 ΔT_3^g :<200ms	1 deg	—	—
	目标前轮转速	总线控制转向系统的目标方向盘转动速度 (deg/s)	转动速率设置范围 θ_{target} :0~500 deg/s	1 deg/s	—	—
^a 目标角度 θ_{target} 是指通过 CAN 总线发送的转角指令, 以正负号区分左转还是右转。 ^b 目标转动角速度 θ'_{target} 是指通过 CAN 总线发送的转动角速度指令, 以正负号区分左转还是右转。 ^c 响应延时是指 CAN 总线上开始发出目标角度指令的时刻到接收到实际反馈角度开始产生变化的时刻之间的时间差。 ^d 最大超调角 $\Delta \theta_1$ 是指方向盘转动过程中实际反馈角度超过目标角度的最大角度值。 ^e 最大角度误差 $\Delta \theta_2$ 是指方向盘转动实际角度达到目标角度时允许存在最大误差。 ^f 转动执行时间 ΔT_2 是指实际反馈角度开始产生变化的时刻与反馈角度第一次达到目标角度时刻之间的时间差。 ^g 超调时间 ΔT_3 是指反馈角度第一次达到目标角度时刻与反馈角度第一次达到最大角度误差要求时刻之间的时间差。						

5.1.1.1.2 线控转向反馈性能应符合表 2 要求。

表 2 线控转向反馈性能要求

子功能	信号	描述	信号分辨率	指令周期	响应延时
转向反馈	前轮转角	前轮转角（左）（deg）	0.1 deg	≤20 ms	≤100 ms
	前轮转速	前轮转动速度（deg/s）	1 deg/s		
	转向驾驶模式	转向系统的驾驶模式信息	—		
	故障信息	转向系统的故障信息	—		
越界处理	越界拒绝执行，执行刹车指令				

5.1.1.2 驱动性能

5.1.1.2.1 线控驱动性能应符合表 3 要求。

表 3 线控驱动控制性能要求

子功能	信号	描述	信号分辨率	指令周期	响应延时
驱动控制	使能	总线控制驱动系统从人工驾驶状态切换到自动驾驶状态的标志位	—	≤ 20 ms	≤ 500 ms
	车辆目标纵向加速度 (可选)	目标车辆加速 (m/s^2)	0.1 m/s^2		
驱动控制	虚拟目标加速踏板位置 (可以是目标加速度或者电机扭矩等)	目标加速踏板的位置 (%)	1 nm	—	—

5.1.1.2.2 线控驱动反馈性能应符合表4要求。

表4 线控驱动反馈性能要求

子功能	信号	描述	信号分辨率	指令周期	响应延时
驱动反馈	驾驶模式	驱动系统的驾驶模式	—	≤20 ms	≤500 ms
	纵向加速度（可选）	车辆实际纵向加速度（m/s ² ）	0.1 m/s ²		
	加速执行反馈	目标加速踏板的位置（%）	1%		
	加速踏板	人工加速踏板的位置（%）	1%		
	车速	车辆实际纵向车速（km/h）	0.1 km/h		
	轮速（可选）	车辆实际轮速（rad/s）	1%		
	故障信息	驱动系统的故障信息	—		
人工接管	加速人工指令覆盖	当驾驶员驱动加速踏板，踏板请求可以覆盖总线控制指令请求			
越界处理	越界拒绝执行，执行紧急制动指令				

5.1.1.2.3 线控档位性能应符合表5要求。

表5 线控档位性能要求

子功能	信号	描述	指令周期	响应延时
挡位控制	挡位控制使能	挡位系统从人工驾驶状态切换到自动驾驶状态的请求标志位	≤ 100 ms	< 1 s
	目标挡位	目标挡位 P/R/N/D		
挡位反馈	挡位状态	当前挡位状态		≤ 100 ms
	故障信息	变速箱的故障信息		

5.1.1.3 驻车性能

线控驻车性能应符合表6要求。

表6 线控驻车性能要求

子功能	信号	描述	指令周期	响应延时
驻车控制	驻车控制使能	驻车系统从人工驾驶状态切换到自动驾驶状态的请求标志位	≤ 20 ms	< 1 s
	驻车请求	驻车控制的请求位		
驻车反馈	驻车状态反馈	当前的驻车状态	—	—
	驻车系统故障反馈	反馈驻车系统的故障情况		

5.1.1.4 制动性能

5.1.1.4.1 线控制动性能应符合表7要求。

表7 线控制动性能要求

子功能	信号	描述	信号分辨率	指令周期	响应延时
制动控制	使能	总线控制制动系统从人工驾驶状态切换到自动驾驶状态的标志位	—	≤ 20 ms	≤ 500 ms
制动控制	车辆目标纵向减速度（可选）	目标车辆减速度 (m/s^2)	0.1 m/s^2	≤ 20 ms	≤ 500 ms
	虚拟目标缓行制动踏板位置（若有）	目标缓行制动踏板的位置 (%)	1%	≤ 20 ms	≤ 500 ms
	虚拟目标机械制动踏板位置	目标制动踏板的位置 (%)	1%	≤ 20 ms	≤ 500 ms

5.1.1.4.2 线控制动反馈性能应符合表8要求。

表 8 线控制动反馈性能要求

子功能	信号	描述	信号分辨率	指令周期	响应延时
制动反馈	驾驶模式	制动系统的驾驶模式	—	—	—
	车辆纵向减速度（可选）	车辆实际纵向减速度（ m/s^2 ）	0.1m/s^2	$\leq 20\text{ms}$	$\leq 500\text{ms}$
	缓行执行反馈（若有）	缓行执行反馈（%）	1%	$\leq 20\text{ms}$	$\leq 500\text{ms}$
	机械制动执行反馈	机械制动执行反馈（%）	1%	$\leq 20\text{ms}$	$\leq 500\text{ms}$
	人工缓行制动踏板位置反馈	人工缓行踏板的位置（%）	1%	$\leq 20\text{ms}$	$\leq 500\text{ms}$
	人工机械制动踏板位置反馈	人工制动踏板的位置（%）	1%	$\leq 20\text{ms}$	$\leq 500\text{ms}$

5.1.1.5 举升性能

5.1.1.5.1 线控举升性能应符合表 9 要求。

表 9 线控举升性能要求

子功能	信号	描述	信号分辨率	指令周期	响应延时
举升控制	举升命令	包含举升、下降、保持	—	$\leq 100\text{ ms}$	$\leq 500\text{ ms}$

5.1.1.5.2 线控举升反馈性能应符合表 10 要求。

表 10 线控举升性能要求

子功能	信号	描述	信号分辨率	指令周期	响应延时
举升反馈	举升状态反馈	包含举升、下降、保持	—	$\leq 100\text{ ms}$	$\leq 500\text{ ms}$
	货箱角度	货箱相对于车体的举升角度	0.1deg	$\leq 100\text{ ms}$	$\leq 500\text{ ms}$

5.1.1.6 灯光控制

线控系统应能控制转向信号灯、制动灯、远光灯、近光灯等灯光设备。

5.1.2 车辆控制响应要求

车辆控制指令从自动驾驶计算设备下发至底盘，底盘应执行改指令，并向自动驾驶系统进行信息反馈。

5.1.3 数据越界处理要求

车辆底盘控制单元应对自动驾驶系统发出指令的数据范围进行判断，并过滤越界数据。

5.1.4 线控化改造走线要求

自动驾驶系统计算单元对底盘的控制应以有线通信方式进行，线缆布置走线应满足 GB/T 34571 的要求。

5.2 标定要求

应通过标定确定各个传感器坐标系与车体坐标系之间的转换关系，并通过感知已知坐标的障碍物的方式验证标定结果，传感器标定精度应满足如下要求：

- 激光雷达经过标定后，点云数据三维位置误差在 10 m 内不大于 0.2 m，10 m 以上的误差不大于 2%；
- 相机设备经过标定后，图像数据三轴角度误差不高于 1° ，图像感知识别的三维空间位置误差不高于 1 m。

5.3 感知要求

应通过测量坐标已知的障碍物的感知结果的方式验证感知能力，车辆感知系统应符合如下要求：

- a) 车辆自动驾驶系统至少包含对车辆、人员、设施、挡墙、山体、体积为轮胎半径 20% 的立方的落石等物体的感知；
- b) 被测物的实际位置以装载或手持的差分 GNSS 定位设备进行记录，自动驾驶车辆对被测物感知的误差应不超过车体与被监测物距离的 8%；
- c) 对车辆的感知范围应不小于车辆重载平直砂石路面最高速度行驶时标准刹车距离的 2 倍；
- d) 对人员的感知范围应不小于车辆重载平直砂石路面最高速度行驶时标准刹车距离的 2 倍。

5.4 定位要求

自动驾驶矿用车辆纵向定位误差应不大于 $\pm 0.5\text{ m}$ ，横向定位误差应不大于 $\pm 0.5\text{ m}$ ，航向精度应不低于 2° 。

5.5 控制要求

5.5.1 横向控制要求

沿地图预定路线行驶时，横向控制误差应不大于 0.5 m 。若发现偏离预定路线，应能以不低于 1 m/s 的速度返回横向预定轨道，且到达横向预定轨道后，恢复横向稳态的时间不应超过横向误差纠正用时的 1.5 倍。

5.5.2 纵向控制要求

自动驾驶矿用车辆恢复速度稳态的时间不应超过到达目标速度用时的 0.5 倍。

5.5.3 停靠要求

停靠时车体平面对角线中心相对于规划中预先指定的停靠区域对角线中心横向误差应不大于 0.5 m ，纵向误差应不大于 0.5 m ，航向误差应不大于 2° 。

5.6 安全要求

5.6.1 基本要求

车辆安全应满足以下基本要求：

- a) 矿用无人驾驶系统控制单元、计算单元等具备操作系统软件的设备的软件安全防护应在操作系统、应用软件、数据、通信等层面进行，通信模块、网关、传感器等无常规平台性操作系统的设备的软件安全防护应在数据、通信等层面进行；
- b) 车内以太网传输应确保通信数据的完整性、机密性、来源合法性；
- c) 应采用符合国家和行业标准的密码算法对车辆相关信息进行保密性和完整性防护。

5.6.2 通信安全要求

5.6.2.1 系统软件通信

系统软件通信应符合如下要求：

- a) 计算单元、传感器及定位模块参考 GB 40050-2021 中的 5.2 条要求；
- b) 计算单元等具备通讯功能的设备参考 GB 40050-2021 中的 5.5 和 5.6 条要求；
- c) 计算单元的日志审计参照 GB 40050-2021 中的 5.7 条要求；
- d) 计算单元、传感器、定位模块、网关之间的通信和数据安全参考 GB 40050-2021 中的 5.8、5.9 和 5.10 条要求。

5.6.2.2 系统硬件设备通信

系统硬件设备通信安全应符合如下要求：

- a) 自动驾驶矿用车辆内各设备之间建立安全的通信信道，保障通信数据的保密性和完整性；

- b) 通信系统满足通信协议鲁棒性要求，能防范报文周期、长短、频率、流量异常攻击，并具备对异常行为进行告警和日志记录的能力；
- c) 自动驾驶矿用车辆内各设备之间支持时间同步功能。

5.6.2.3 车辆间通信

车辆间通信安全应符合如下要求：

- a) 车辆间通信确保通信安全，发布端和接收端应分别进行加密和解密；
- b) 附带时间戳满足通信时效性；
- c) 车内以太网通讯采用安全传输协议。

5.6.3 自动驾驶系统安全要求

5.6.3.1 软件安全

软件安全应符合如下要求：

- a) 自动驾驶矿用车辆的控制系统及网络设备能支持冗余功能，并提供自动切换功能。在控制系统或网络设备等部件运行异常时，应切换到冗余设备或冗余部件以降低安全风险；
- b) 自动驾驶矿用车辆的硬件主机及网络设备支持预装软件、配置文件和运行记录的备份与恢复，且使用恢复功能时支持完整性检查；
- c) 自动驾驶矿用车辆的控制系统及网络设备能对 CPU、内存、系统文件及应用程序文件的异常状态进行监测，并将异常信息写入车端日志进行上报和提示错误，且此日志应进行加密；
- d) 自动驾驶矿用车辆的网络设备不应存在已公布的漏洞，应具备漏洞防范和补救措施；
- e) 自动驾驶矿用车辆的控制系统及数据传输设备内部的预装软件、升级包不应存在恶意程序；
- f) 自动驾驶矿用车辆的控制系统及网络设备不应存在未声明的功能和访问接口；
- g) 每台自动驾驶矿用车辆应有唯一身份标识，每台自动驾驶设备、网络终端、无线网络相互连接时应有身份鉴别机制；
- h) 每台自动驾驶矿用车辆及服务器应支持启用安全策略或具备安全功能；
- i) 应对每台设备和服务器的身份鉴别信息进行安全保护；
- j) 自动驾驶矿用车辆应设置访问控制策略，在访问受控资源时，依据设置的访问策略进行授权和访问控制，确保访问和操作的安全；
- k) 应使用权限分级机制，对涉及设备安全的重要功能，仅授权高等级权限用户使用；
- l) 宜采用软件密码模块对敏感数据进行保密性和完整性保护。

5.6.3.2 硬件安全

自动驾驶矿用车辆的硬件整机和主要部件应具备唯一标识，对应的预装软件、升级包的不同版本也应进行唯一性标识。硬件电路应做防水封装，为应对芯片管脚的暴露，应限制访问的读写权限。

5.6.4 账户鉴权管理

5.6.4.1 局域网安全要求

自动驾驶矿用车辆局域网安全应符合以下要求：

- a) 有线网络进行物理锁闭，防止未认证的人员和设备通过有线连接方式接入；
- b) 无线网络进行加密，防止未认证的人员和设备通过无线连接方式接入。

5.6.4.2 计算单元访问安全要求

自动驾驶矿用车辆应具备数据安全设计，并应符合以下要求：

- a) 未经过认证的人员或设备不能通过有线和无线网络对车辆进行连接，也不能对车辆数据和功能进行访问和修改；
- b) 经过认证的人员对数据进行访问和修改时采取不同的权限。

6 运维要求

6.1 维护要求

自动驾驶矿用车辆运营期间检测到的故障应在24 h之内进行处理，处理方式包括停车、远程介入、现场维修、开回维修点维修和拖回维修点维修。未发生故障的车辆也应进行周期性维护，维护周期不应超过4000 h或者整体车辆的维护周期。

自动驾驶矿用车辆的维护应由人员现场进行，维护方法包括如下：

- a) 直接读取各传感器数据，分析传感器数据周期是否符合预设值；
- b) 直接读取各传感器数据，分析传感器数据误差是否符合预设值；
- c) 对于算法模块，应预设输入和输出，维护期间通过预设数据检测算法模块功能；
- d) 直接启动整车系统，检查所有设备间的数据连通性；
- e) 检查传感器标定精度，是否满足前文描述的精度要求。

6.2 稳定性要求

自动驾驶系统软件发生异常的平均周期应不小于 24 h。

T/ITS 0198.2-2022

T/ITS 0198.2-2022

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2部分：总体技术要求

T/ITS 0198.2—2022

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>

2022年10月第一版 2022年10月第一次印刷