

中国电子学会标准

《矿山用无人车智能行进技术规范》
(征求意见稿)

编 制 说 明

2025 年 9 月

一、工作简况

1、任务来源

按照中国电子学会2025年9月下发的《关于同意太原工业学院标准立项申请的函》文件，《矿山用无人车智能行进技术规范》列入中国电子学会标准化工作委员会标准计划项目，计划号为JH/CIE 652-2025。

2、主要起草单位

由太原工业学院牵头起草，北京理工大学、太仓麦斯达夫技术研究有限公司、山西新华防化装备研究院有限公司、北京航空航天大学、国能神东煤炭集团有限责任公司、新疆准东经济技术开发区管理委员会、山西天地煤机装备有限公司、浙江远程新能源商用车集团有限公司、蘑菇车联信息科技有限公司、北京轻舟智航智能技术有限公司、陕西榆林能源集团榆神煤电有限公司、华阳新材料科技集团有限公司、中国矿业大学、北京中科赛新智能技术有限公司、麦斯达夫（山西）集团有限公司参与起草工作。

3、主要起草人

成立起草小组，主要由乔俊福、黄刚、尉伟华、王步康、李华文、田俊康、赵飞、郑波、张惠棋、陈果负责起草。

4、主要工作过程

a) 标准预研阶段

2025年7月~8月，工作组调研无人车行业在矿山场景下的案例及现有标准执行情况，收集国内外有关机器人和无人系统融合的案例作为参考。结合调研结果，确定标准文本中的系统组成，系统要求和试验方法等内容。

b) 标准立项阶段

2025年9月5日，中国电子学会组织专家进行立项评审会，于9月16日下发《关于同意太原工业学院标准立项申请的函》。成立了以太原工业学院为主要起草单位的标准工作小组，制定了工作计划，落实了人员分工，并开展标准编制。

c) 标准起草阶段

标准获批立项后，成立了以太原工业学院为主要起草单位的标准工作小组，制定了工作计划，落实了人员分工，并开展标准编制。标准起草组对技术内容进

行研讨，邀请行业专家对无人车智能行进控制、环境感知等关键技术点进行论证，对标准内容进一步优化和完善，形成征求意见稿。

d) 征求意见阶段

2025年9月24日起，在官网公开征求意见。将标准草案发送至行业协会、科研院所、相关企业等广泛征求意见。

二、目的、意义或必要性

1、目的

(1) 响应战略任务

落实国家资源型经济转型综合配套改革试验区战略任务，深化工信部等《“十四五”机器人产业发展规划》（2021）提出的“提高产业创新能力”要求；推进《“机器人+”应用行动实施方案》（2023）应用实践。近年来，在矿山用无人车研发过程中，各学校、科研机构与企业技术基准不一，学校以其自身特色优势，如校企融合地缘学缘优势突出、引智聚才院士资源赋能显著、人才培养钝学累功成效扎实。研发得出的习惯定义传感器安装位置、数据传输协议等与科研机构、企业不同的研发成果难以整合。标准提供了矿山用无人车智能行进技术的系统组成的内容，提供技术指导，确保传感器数据能以统一格式传输，不同研发的算法、硬件模块可以基于相同的数据基础进行交互。这不仅降低了研发成本，还能让行业内技术交流更顺畅，推动无人车技术的整体发展，提升研发效率。

(2) 安全风险保障

矿山用无人车的应用场景往往涉及高风险，其安全性能直接关系到人员安全及任务成败。矿山的粉尘、潮湿环境易导致电子元件故障，控制系统出现异常，造成行驶路线偏移、失控等情况。针对余震、建筑物坍塌等不确定因素对无人车带来的结构性、抗干扰提出挑战，通信信号也易受干扰中断，致使无人车与指挥中心失去联系，无法完成任务。标准从硬件、软件多方面提出安全要求，从源头降低无人车在矿山失控、失效的风险，保障技术应用的安全性。

(3) 跨领域协同

矿山用无人车涉及机械工程、电子信息、人工智能、通信技术等多个领域。当前跨领域协同困难，各领域企业缺乏统一的协同目标和沟通机制，导致无人车整体技术集成度低。无人车技术研发需要多学科（如人工智能、机械工程、环境

科学等)、多机构协作。标准可作为跨主体合作的“通用语言”，便于高校的基础研究成果与企业的工程化需求对接。标准搭建起跨领域合作的桥梁，明确矿山用无人车研究中的技术研发和对接要求，促进各领域开展协同研发，加速技术从理论研究到实际应用的转化过程，提升其整体性能。

目前学校、科研院所与企业之间存在重复研发、技术路线混乱等问题，造成资源浪费，出现高端核心技术研发进度缓慢的现象。需要标准根据如高温高湿、极地严寒、沙漠沙尘、复杂地形等矿山下不同场景的需求，对无人车行进技术进行规范。通过这种方式优化资源配置，梳理行业共性需求和技术瓶颈，引导研发资源向关键方向集中，避免低水平重复建设，提高行业整体研发效率。

2、意义

随着无人车在矿山中进行应急救援、资源勘探等应用的日益广泛，政府监管和政策支持需要技术标准作为依据。本标准可为相关部门制定产业政策等提供参考，促进“技术研发—标准规范—政策支持”的良性循环。

矿山用无人车通过对导航与避障系统的冗余设计、精准操作等进行规范，从技术层面降低无人车在矿山中的运行风险。对视觉感知、决策规划、环境适应性和安全性等进行规范，确保无人车能够在浓烟、废墟等特殊场景中稳定作业，提升救援效率，减少人员伤亡。在资源勘探等领域，保障作业安全，降低人工勘探的安全隐患和成本，标准通过规范其技术性能，确保无人车在极端场景中能可靠完成任务。

《矿山用无人车智能行进技术规范》通过明确环境感知、决策规划等核心领域的技术指标，为无人车产业的技术创新指明方向。统一系统架构，促进产业链上下游协同创新，打破技术壁垒，加速传感器、算法、芯片等关键环节的融合发展，推动我国无人车产业在矿山应用场景下实现从跟跑到领跑的跨越，显著提升国际竞争力，抢占全球技术高地。

3、必要性

目前，矿山用无人车智能行进技术领域尚未形成全面且权威的统一标准。国内外虽在无人车技术研究上有一定成果，但针对矿山中特殊环境（如高温高湿、极地严寒、沙漠沙尘、复杂地形等）的专门标准严重缺失。不同机构在技术研发过程中，从环境感知模块的传感器选型、决策控制算法的设计以及车辆硬件防护，

尚未规范统一，这种无标准状态导致研发成果兼容性差，不同机构的矿山用无人车产品难以协同作业，数据交互困难，极大阻碍了技术的推广与应用。

矿山用无人车应用于矿山作业中高风险的场景，其质量和可靠性也关乎人员生命安全与重大财产安全。产品质量参差不齐，部分矿山用无人车在极端环境下稳定性差，容易出现故障。标准通过明确矿山用无人车智能行进技术的系统组成、无人车本体、电源性能、通信、环境感知、路径规划、智能行进控制、应急避障、试验方法等内容，从源头降低无人车在复杂环境中失控、失效的风险，保障技术应用的安全性。

三、标准编制原则和确定主要内容的论据及解决的主要问题

1、编制原则

(a) 规范性原则

标准编写遵循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，采用统一标准编制软件进行文档编写。

(b) 一致性原则

在编写过程中参考了无人车相关的标准，在技术方法上保持与现有标准的一致性。

(c) 适用性原则

标准适用于高等学校、科研院所、企业等从事矿山用无人车智能行进的技术研发工作。

(d) 科学性原则

以矿山地质力学、车辆工程、控制理论与控制工程、人工智能等多学科理论为基础，确保标准中的路径规划、环境感知、决策控制等技术要求科学合理，符合无人车动力学原理、矿山复杂工况与安全生产的客观规律。

2、主要内容的论据及解决的主要问题

《矿山用无人车智能行进技术规范》共12章，主要内容包括系统组成、无人车本体、无人车电源性能、智能行进通信、智能环境感知、动态路径决策和规划、智能行进控制、应急避障、试验方法。确立各部分内容的论据及解决的主要问题如下：

(a) 系统组成

矿山无人驾驶车辆不是单一技术的简单堆叠,而是需要多个子系统高度协同的复杂系统。矿山环境具有多尘、潮湿、坡度大等特点,对无人车系统的稳定性和可靠性提出了极高要求。系统组成需充分考虑这些因素,确保系统组成能够适应矿山特殊工况。

(b) 无人车本体

无人车本体是全部智能系统的物理承载平台,其机械可靠性是一切高级功能(如感知、决策、控制)得以有效运行的先决条件。

(c) 无人车电源

将“电源性能”作为关键章节,是基于一个核心认知:电源是无人车的“心脏”,为所有智能系统(感知、通信、计算、控制)提供生命线。在矿山这一特殊作业场景下,电源系统的任何失效都不仅仅是停止运行,更可能直接导致严重的安全事故。

(d) 智能行进通信

通信系统是无人车的“神经网络”,是实现智能化的“生命线”。在矿山复杂环境中,通信系统的性能直接决定了无人车是否成为一个真正自主的智能体,应对矿山恶劣的传输环境。因此对智能行进通信的通信可靠性、通信延迟、通信安全性进行规定。

(e) 智能环境感知

感知系统是无人车的“眼睛”和“耳朵”,是其理解周边环境、实现智能决策的绝对前提。矿山环境的极端特殊性,使得通用自动驾驶的感知技术在此直接“失明”。因此,必须针对性地解决“看得见”和“看得懂”这两大难题。参考太原工业学院等机构的实践经验,体现了标准制定紧密贴合矿山真实场景需求的特点。

(i) 动态路径决策和规划

矿山运输环境是典型的动态、非结构化场景,路径并非一成不变。因此,无人车的决策系统必须能够实时应对变化,并做出兼顾安全、效率与经济性的最优选择。本部分对路径动态决策和规划的决策规划性能和动态路径规划进行规定,通过规定数据的输入和输出支持多目标优化与分级,正是为了塑造和规范这一“智能大脑”的核心能力。

(j) 智能行进控制

智能行进控制是无人车智能系统的“执行终端”,负责将决策规划模块输出

的抽象路径指令，精准、稳定、协调地转化为车辆的实际运动。在路况复杂、载荷巨大的矿山场景下，控制的精度直接决定了作业安全性与运输效率。本部分对智能行进控制的纵向控制、转向控制、协同控制以及自适应调节、协同控制来确保无人车在矿山场景下稳定、精准行驶。

(k) 应急避障

在智能系统部分或完全失效的极端情况下，必须有一套独立、最高优先级且绝对可靠的安全机制，能够立即接管车辆，将风险降至最低。本部分对应急避障的故障检查与处理，紧急制动的三级制动策略以及参考 GB/T 38628 的要求对系统网络安全进行规定，旨在构建一个从风险预警到紧急制动，并覆盖网络威胁的纵深防御体系。

(l) 试验方法

为确保与前述所有技术要求一一对应，在模拟真实矿山的工况下，对无人车的各项性能，如无人车防水等级、底盘通过性等参数确定通行能力，地形起伏程度、坡面稳定性等进行客观量化与合格判定。本部分的规定，是确保规范能够落地、产品能够可靠应用的最终保障。

四、主要试验情况分析

本试验依据相关技术规范，对矿山用无人车系统的关键性能指标进行了全面测试，以验证其在复杂矿山环境下的可靠性、安全性和作业效能。

1、本体性能试验

试验要求：依据 GB/T 4208 和 GB 18384 等标准，对车辆本体进行结构强度、密封性及防护性能测试。

试验情况：通过对车辆施加静载荷和动载荷，测量其变形和应力，验证了结构强度满足设计要求。密封性测试显示，车辆门窗、舱盖等部位在雨水和沙尘环境中均无渗漏。防护性能测试表明，车辆底盘、车身及电气设备具备良好的防腐、防水、防尘、防潮和防盐雾能力。

2、电源性能试验

试验要求：测试电源容量、稳定性及在不同环境下的适应性。

试验情况：在模拟特殊环境下进行连续运行试验，记录了电源从满电到耗尽的时间，电源容量指标符合设计预期。通过实时监测，电源系统输出的电压和电流波动范围均在允许范围内，稳定性良好。在高低温、高海拔等恶劣环境下，电源性能参数与常温环境相比无明显劣化，展现了优异的适应性。

3、通信性能试验

试验要求：评估通信可靠性、延迟及安全性。

试验情况：在实际通信环境中模拟多种场景，通信误码率和中断时间均达到设计要求。通信延迟测试显示，信息发送到接收的平均时间满足实时控制需要。网络安全测试中，通信系统能有效抵御模拟入侵，未发生数据被窃取、篡改或伪造的情况。

4.环境感知试验

试验要求：验证环境适用性及感知系统的范围、精度与实时性。

试验情况：

(a)环境适用性：车辆在高温($\geq 40^{\circ}\text{C}$)、低温($\leq -20^{\circ}\text{C}$)、高海拔($\geq 3000\text{m}$)、雨雪(能见度 $< 200\text{m}$ 或积雪 10cm)及沙尘(浓度 $\geq 1000\text{mg}/\text{m}^3$)环境下连续运行5小时，各项性能指标稳定，未出现故障。

(b)环境感知：在空旷场地测试，感知系统的水平与垂直感知范围、最远感知距离均达到设计要求。对不同尺寸和形状的障碍物，感知的位置、尺寸及速度精度误差符合标准。从传感器采集到信息传输至决策系统的平均时间间隔满足实时性要求。

5、决策规划试验

试验要求：测试决策正确性、路径规划合理性及响应时间。

试验情况：在模拟矿山多种工况下，决策正确率超过98%。路径规划评估软件分析显示，所规划路径在安全、效率及车辆动力学约束方面均表现合理。决策规划系统从接收到输出行驶指令的平均响应时间满足实时作业需求。

6、控制性能试验

试验要求：评估动力、转向及制动控制的精度与响应。

试验情况：车辆按设定速度曲线行驶，动力响应时间和速度控制精度误差均在允许范围内。转向测试中，转向响应时间和角度控制精度符合要求，且车辆行驶稳定，无跑偏、侧滑。紧急制动和正常制动试验显示，制动距离和制动响应时间达到安全标准。

7、应急避障试验

试验要求：检验应急安全性、危险检测及时性及决策准确性。

试验情况：系统在碰撞检测与规避、紧急制动及网络安全威胁抵御方面表现可靠。在模拟突发危险场景中，系统均能及时检测并启动应急避险，未发生车辆

受损。应急决策与预设合理方案的符合率高，证明了其在危急情况下的决策准确性。

本次试验全面验证了所述无人驾驶矿车系统在本体、电源、通信、环境感知、决策规划、控制及应急避障等关键性能上均满足设计要求，能够适应矿山复杂恶劣的作业环境。实际运行数据显示，无人驾驶模式相较于人工驾驶，运输效率提升4%，证实了该系统在提升矿山安全生产效率方面的有效性与先进性。

五、知识产权情况说明

经全面检索与调查，标准制定过程中未涉及知识产权问题。

六、采用国际标准与国外先进标准情况

经查询，标准没有采用国际标准和国外先进标准。

七、产业化情况、推广应用论证和预期达到的经济效果

1、产业化情况

目前，矿山无人驾驶运输技术已从技术研发与验证阶段，逐步过渡到商业化应用与规模化推广的早期产业化阶段。其产业化态势呈现以下特点。

（a）产业生态初步形成

国内已涌现出以华为、易控智驾、慧拓智能、踏歌智行为代表的一批解决方案提供商，形成了包括无人车制造、传感器供应、算法开发、运营服务在内的初步产业链。

（b）技术方案趋于成熟

通过在多座露天矿山的实地测试与试运营，关键技术如融合感知、融合定位、智能调度已得到有效验证，系统可靠性与稳定性不断提升，为规模化复制奠定了基础。

（c）商业模式多元化探索

当前市场主要存在两种商业模式：一是由技术公司提供全套解决方案并负责运营，矿山企业按运输量支付服务费；二是矿山企业直接采购无人驾驶系统与车辆，自主进行运营维护。多元化的模式降低了矿企的初始投资门槛，加速了技术落地。

2、推广应用论证

在矿山领域推广应用无人驾驶运输系统，具有充分的必要性与可行性。

（a）解决行业痛点，保障安全生产

必要性：传统矿山运输是矿山高危作业环节，长期面临驾驶员招聘难、疲劳驾驶导致安全事故频发、人员成本持续攀升等严峻挑战。

可行性：矿山用无人车每天能够实现最少 20 小时连续作业，彻底将人员从危险环境中解放出来，从根本上杜绝了运输环节的人身伤亡事故，符合国家关于“机械化换人、自动化减人”的安全生产导向。

(b) 提升运营效率，降本增效显著

必要性：矿山企业面临节能减排和成本控制的巨大压力，传统运输模式存在燃油消耗高、设备利用率低、管理调度不优化等问题。

可行性：如实验数据所示，无人驾驶系统通过全局智能调度、最优路径规划和稳定匀速行驶，已实现效率提升 4%，并有望进一步优化。同时，电动无人矿卡能大幅降低能源成本，实现节能减排目标。

(c) 技术条件成熟，具备推广基础

可行性：如前文试验所验证，矿山用无人车在车体性能、环境适应性、决策控制及应急安全等关键指标上均已达标，能够应对矿区的复杂恶劣环境。5G、北斗等新型基础设施的完善，为系统提供了强大的网络和定位支持。

(d) 适用范围广泛，应用前景广阔

可行性：该技术方案不仅适用于新建的智慧矿山，也可通过对现有传统矿山进行无人化改造，技术迁移性强。其应用可延伸至其他封闭或半封闭场景，如港口、大型物流园区等，市场空间巨大。

3、预期达到的经济效果

规模化推广应用矿山用无人车，将产生显著的经济效益。

(a) 直接经济效益

人力成本大幅降低：一个采用数十台无人车的大型矿山，可减少上百名驾驶员及相关辅助人员，每年节省人力成本数千万元。

(b) 间接经济效益

资产利用率最大化：实现至少 20 小时每日不间断作业，大幅提升每台无人车的出勤率和生命周期内的总运输量，摊薄固定资产折旧。

(c) 综合经济效果

据行业估算，一个中型露天矿全面采用无人车后，综合吨公里运输成本有望

降低 15%至 25%。投资回收期通常在 2-4 年，从长远看，将极大地增强矿山企业的核心竞争力和盈利能力，为行业的可持续、高质量发展注入强大动力。

八、与现行相关法律、法规、规章及相关标准的协调性

本团体标准严格遵循现行相关法律、法规、规章要求。在已经发布的国家各类标准中尚无矿山用无人车智能行进技术规范类似的标准。所以，本标准与现行法律法规和强制性标准不矛盾、不重复。在引用相关标准时，均采用最新有效版本。

九、贯彻标准的要求和措施建议

为做好标准的宣贯实施，建议联合相关单位、行业协会等，共同开展行业内的宣贯培训和实施应用，确保标准落地实施推广。此外，建议在标准的宣贯实施工作中，建立标准实施信息反馈、评估和结果运用机制，进一步验证标准内容的协调性、有效性，对实施过程中遇到的各类问题采取有效措施加以解决，构建标准持续优化提升的有效机制，助推标准有效落地并取得明显成效。

十、替代或废止现行相关联盟标准的建议

无替代或废止现行相关联盟标准的建议。

十一、其它应予说明的事项

无其他需要说明事项。

中国电子学会标准《矿山用无人车智能行进技术规范》编制工作组

2025-09-24