

# AGV车辆的防爆设计

宋家昌, 李俊伟, 刘建伟

中船海为高科技有限公司, 河南 郑州

收稿日期: 2026年4月2日; 录用日期: 2026年5月5日; 发布日期: 2026年5月13日

## 摘要

AGV的核心作用是在工厂、仓库等环境中实现物料的自动化搬运, 通过导航技术自主行驶, 提升效率、降低人力成本, 并支持24小时连续作业。涉及易燃易爆物质的环境中, 防爆AGV的设计起到关键作用, 本文主要从多个方面讲述AGV车辆的防爆设计。

## 关键词

防爆设计, AGV车辆, 防爆元件

# AGV Vehicle Explosion-Proof Design

Jiachang Song, Junwei Li, Jianwei Liu

CSSC Haiwei High-Tech Co., Ltd., Zhengzhou Henan

Received: April 2, 2026; accepted: May 5, 2026; published: May 13, 2026

## Abstract

The core function of AGV is to achieve automated material handling in environments such as factories and warehouses. Through navigation technology, AGV can autonomously travel, improve efficiency, reduce labor costs, and support 24-hour continuous operation. The design of explosion-proof AGV plays a key role in environments involving flammable and explosive substances. This article mainly discusses the explosion-proof design of AGV vehicles from multiple aspects.

## Keywords

Explosion-Proof Design, AGV Vehicle, Explosion-Proof Components



## 1. 引言

近年来,国内外关于 AGV 的导航控制、调度系统优化、结构设计等方面的研究已日趋成熟,诸多学者针对不同应用场景完成了 AGV 的性能提升与功能适配设计[1]。在防爆特种装备领域,研究多集中于防爆电气设备的隔爆、本安设计原理及防爆认证规范,部分研究将防爆技术与工业机器人、搬运设备结合,提出了基础的防爆改造思路,为防爆 AGV 的研发奠定了理论与技术基础。现有防爆 AGV 相关研究多侧重单一防爆形式的应用或局部部件的防爆设计,针对 AGV 整车 - 涵盖导航模块、动力系统、无线通信单元、调度交互模块等全系统的防爆集成设计研究仍较为零散,且针对石油、化工等复杂防爆环境的 AGV 适配性设计考量尚有不足。

在此背景下,本文结合 AGV 整车运行特性与防爆环境的特殊要求,整合现有防爆技术与 AGV 设计标准,从整车安全角度开展防爆 AGV 的系统设计思路研究[2][3],弥补现有研究在整车防爆集成设计方面的不足,为防爆 AGV 的标准化设计与工程应用提供更具针对性的参考。

## 2. AGV 车辆组成

AGV 车辆主要由供电系统、驱动系统、导航系统、整车控制系统、低压辅助系统组成[4],整车控制系统见图 1。供电系统为整车各系统提供电力来源;驱动系统主要驱动整车运动;导航系统感知周围环境,实现导航定位功能;整车控制系统根据运动指令及底盘模型解算各驱动轮速度、转向角度实现整车运动;低压辅助系统主要包含包括指示灯、按钮及安全防护模块功能。下图所示为整车控制系统图:

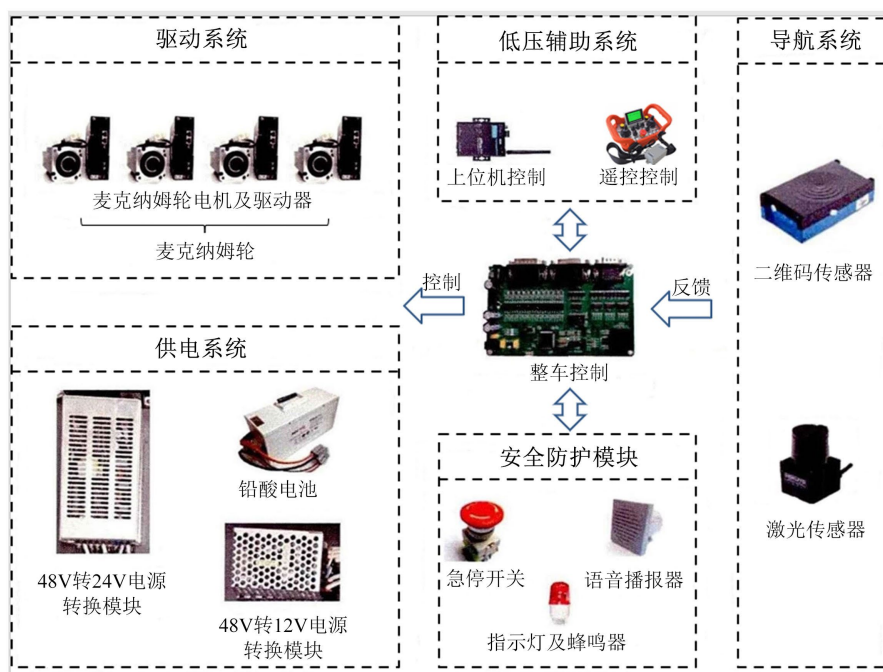


Figure 1. Vehicle control system

图 1. 整车控制系统

### 3. AGV 车辆的防爆设计

根据 AGV 车辆组成, 整车应从电气防爆、机械防爆等方面开展防爆设计。需符合 GB/T 37669-2019 《自动导引车(AGV)在危险生产环境应用的安全规范》[5], 关键部件(如电机、电池组)需通过 GB/T 3836 系列防爆标准认证[6][7], 确保隔爆型(d 型)、增安型(e 型)等防爆设计, 整车需取得防爆合格证。本文主要介绍一种复合型防爆 AGV 的设计。

#### 3.1. 防爆电气设计

根据整车功能组成、硬件配置情况, 将整车电气元件分为非防爆型电气元件及防爆型电气元件。设计隔爆型防爆箱安装非防爆电气元件, 整车包含防爆电池箱、防爆控制箱、防爆驱动器箱; AGV 外围安装防爆型电气元件[8]。

防爆电池箱依据《GB3836》防爆设备有关标准设计, 内部采用防爆电芯及防爆电气设计, 分为电芯腔和 BMS 腔。电芯单体主要安全风险为热失控, 电芯腔布置电池单体模块, 并且每个电芯模块设有温度、电压检测, 提升电芯热失控监控能力, 满足防爆要求的 T4 温度组别要求。BMS (电池管理系统)在防爆电池箱中的设计是实现本质安全的核心环节, 其作用远不止于常规的电量管理, 而是通过多重技术手段从根源上抑制爆炸风险的发生。BMS 系统监控所有单体电芯电压、温度、并且具备充放电控制、均衡、过压过流、过充过放、过高温保护、自检等功能。此种布局方式将强电元件(如电池单体)置于主隔爆腔, 弱电设备(BMS 模块及控制主板)置于副隔爆腔或增安型腔, 符合隔爆型设备设计要求的基础上, 实现风险隔离。

防爆控制箱为隔爆型, 主要布置非防爆电气元件。车体底盘控制部分包含车载控制器、接触器、继电器、二极管等元件; 导航部分包含导航控制器、惯导、路由器等元件; 通讯及网络交互包含 CAN 交互模块、交换机和路由器; 辅助系统包含分线盒、端子排等。

防爆驱动器箱为隔爆型, 箱内主要布置伺服驱动器、分线端子、安装支架等。为保障驱动器工作时的散热性能, 此隔爆型箱体采用铝制保证散热, 箱体内部根据驱动器本体散热面设计箱体散热面, 两面紧贴并涂散热硅脂散热。驱动器工作时的热量产生及驱动器箱的散热能力要进行严格计算, 确保箱内温度不超过规定值。若散热量小于工作时驱动器发热量, 则需要依据防爆标准考虑其他散热形式, 例如配置散热片或增加散热风扇。

隔爆箱电气设计所有带电部件(如电池极柱、开关触点)必须有可靠的绝缘(需选用耐高温、耐老化的绝缘材料, 如硅橡胶、聚酰亚胺等)和防护, 防止松动、短路产生火花。电池管理系统(BMS)具备过流、过压、欠压、过温、短路等多重保护功能, 并能快速切断电路。金属外壳必须可靠接地, 配备专用接地端子( $\geq M8$  铜制螺栓), 接地电阻  $\leq 4 \Omega$ , 确保故障电流瞬时导入大地, 杜绝静电积聚风险。裸漏导电部件电气间隙  $\geq 6 \text{ mm}$  (IIB 级), 爬电距离  $\geq 10 \text{ mm}$ , 强弱电分开布线, 间距  $\geq 50 \text{ mm}$ 。

腔体之间采用防爆接穿墙端子过线, 出线口采用防爆填料函出线并填堵防爆泥, 防爆等级不低于 ExdIIBT4。

#### 3.2. 防爆电气元件

如表 1 所示, 防爆 AGV 外围元件选型[9]主要包含防爆电机、防爆激光雷达、防爆传感器等。

电机主要用于驱动整车运动, 通过伺服控制器控制其转速或角度。电机运转会产生高温, 一般设计为隔爆形式。隔爆外壳采用铸钢或高强度球墨铸铁(如 QT400-15), 壁厚比普通电机增加 30%~50%, 能承受内部爆炸压力(通常 $\geq 0.8 \text{ MPa}$ )。接合面类型包括平面、圆筒形或止口形, 需严格控制间隙、宽度及粗糙度。绕组绝缘材料需采用耐电弧, 并通过耐潮、耐霉、耐盐雾试验。线缆引入装置需采用金属填料函 + 压缩密封环, 抗拉拔力  $\geq 200 \text{ N}$ ; 轴封需采用双唇骨架油封 + 泄压通道, 粉尘渗透量  $\leq 0.01 \text{ g/m}^3$ 。

**Table 1.** Explosion-proof signs of main components  
**表 1.** 主要元件防爆标志

名称	防爆标志	功能
电机	Ex db IIC T4 Gb	驱动整车
激光雷达	Ex db IIC T6 Gb	导航定位
扬声器	Ex db IIC T6 Gb Ex tb IIIC T80°C Db	播报语音提示
激光测距仪	Ex db IIC T6 Gb Ex tb IIIC T80°C Db	检测到位距离
连接器	Ex db IIB T4 Gb	车身调试接口
按钮、灯光	Ex db eb IIC T6 Gb Ex tb IIIC T80°C Db	低压辅助

防爆激光雷达主要用于 AGV 车辆的建图、定位功能，一般设计隔爆外壳或本安电路。隔爆型采用坚固外壳承受内部爆炸压力。本安型限值电路的能力(电压或电流)，确保即使短路或故障也无法点燃爆炸性混合物。产品在防爆设计的基础上还需要对玻璃进行透明设计，采用特种符合材料替代传统钢化玻璃，在保证防爆强度的同时提升激光透过率，保证探测距离衰减问题。

扬声器主要用于 AGV 运行状态的提示，如车辆行车或转弯等不同姿态时播报不同语音提醒。扬声器的防爆设计按照隔爆标准设计隔爆外壳，还要满足粉尘环境用外壳保护型，阻止粉尘进入设备内部[10]。同时依据声学系统设计，包括振动系统的材料，磁路系统的高磁导率材料等。电缆或导线引入处同样采用密封结构(如密封圈、隔爆螺纹)，防止爆炸性气体通过引入口进入壳内。

激光测距仪的功能为车体到接驳点位后，通过激光测距仪测量与物体的相对距离来二次确认停位是否准确，可以进行下一步的接驳动作，属接驳安全设计。可通过模拟量输出至控制器，换算为相对位置信息。光学窗口采用高强度、耐刮磨材料，保护内部光学元件并保证激光透过率。

连接器用于车体调试，直连主控制器通讯接口。连接器采用隔爆形式，依据 GB3836.2 进行设计，用橡胶密封圈或金属密封垫配合特殊压紧结构，确保防护等级达到 IP65 及以上，有效防尘防水。

按钮、灯光用于 AGV 小车上电及状态显示。设备防爆标识增加增安型防爆形式，正常运行条件下不会产生电弧、火花或危险高温。通过采用高质量的绝缘材料、严格的制造工艺、增强电气间隙和爬电距离等附加安全措施，来进一步提高设备的安全性，从根本上杜绝点火源的产生[11]。

### 3.3. 防静电设计

AGV 的防静电设计，通过材料选择、接地泄放和主动消除三重手段，彻底消除静电防爆场车非电气点燃源及控制措施分析[12]。

金属结构及部件：车辆上大于 100 cm<sup>2</sup> 的导电部件都应连接到车架保持点平衡；

- 1) 接地电阻：车辆所有金属部件与地之间接地电阻不得高于 10<sup>6</sup> Ω；
- 2) 材料选择：采用导电材料并进行等电位连接，消除电位差。
- 3) 静电泄放：AGV 底部安装导电接地带，要求与车架可靠连接，与地面良好接触。导电材料可将静电荷导入大地。
- 4) 辅助设计：关键部位加装铜箔缓冲层，减少摩擦产生的火花。

### 3.4. 防爆结构设计

- 1) 动静分离：将静止部件(如车架主体、隔爆箱体)与运动部件(如驱动轮、顶升机构)的连接做缓冲和密封处理，避免振动导致隔爆接合面松动[13]；

2) 隔爆接合面: 箱体与盖板、各模块间的接合面必须符合标准(如 GB 3836.2), 参数包括宽度、间隙、粗糙度(如  $Ra \leq 3.2 \mu\text{m}$ ), 确保爆炸压力释放时火焰被冷却熄灭。防爆接合面宽度和箱体开孔到接合面距离满足要求;

3) 螺纹: 螺纹接合面啮合齿数 $\geq 5$ ; 螺纹接合面啮合深度  $\geq 8 \text{ mm}$ ;

4) 电缆引入装置: 必须采用隔爆型或本质安全型引入装置(如 Exd 认证的防爆挠性连接管 + 隔爆型格兰头), 确保电缆引入后密封可靠, 防止爆炸压力沿电缆通道传播。

5) 观察窗与操作机构: 视窗需采用钢化玻璃 + 金属包边结构; 按钮、急停开关等操作机构应采用 Exd 或 Exdc 复合型结构, 传动轴与面板间设迷宫式密封[14]。

6) 材质选择: 通常采用高强度钢材或铝合金材料。如不锈钢具有良好的耐腐蚀性和抗冲击性, 且在摩擦时不易产生火花, 适合防爆环境[15]。

7) 轮胎: 轮胎材料需选择高耐磨、低摩擦火花特性的橡胶配方, 如丁腈橡胶(NBR)、氯丁橡胶(CR)等, 避免轮胎与地面摩擦、碾压异物时产生机械火花。表面电阻严格控制在  $10^6 \sim 10^9 \Omega$  之间, 既能安全泄放静电, 又不会因过快放电产生火花。

#### 4. 结语

综上所述, 防爆 AGV 的设计体现了工程安全与智能化的深度融合, 其持续发展不仅依赖技术迭代, 更需行业协同推动标准完善。这一领域的前景广阔, 将为工业安全自动化树立新标杆, 助力全球高危行业迈向更高效、更安全的未来。

#### 参考文献

- [1] 李伟娟. 浅析 AGV 小车的引导方式及其发展趋势[J]. 中小企业管理与科技旬刊, 2015(11): 235.
- [2] 周密林. 矿用纯电动防爆车辆发展现状综述[J]. 煤炭工程, 2020, 52(6): 170-173.
- [3] 张东. 矿用纯电动防爆车辆发展现状综述[J]. 内蒙古煤炭经济, 2021(19): 46-47
- [4] 孟雪, 吕威. 浅谈 AGV 车辆的防爆设计[J]. 电气开关, 2018, 56(4): 66-68, 73.
- [5] GB/T 37669-2019 《自动导引车(AGV)在危险生产环境应用的安全规范》[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.
- [6] GB/T 3836. 1-2021 爆炸性环境 第 1 部分: 设备通用要求[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
- [7] GB/T 3836. 2-2021 爆炸性环境 第 2 部分: 由隔爆外壳“d”保护的的设备[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
- [8] GB/T 19854-2018 爆炸性环境用工业车辆防爆技术通则[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [9] 杨文超. 爆炸危险场所防爆电气设备危险性分析[J]. 科技创新与应用, 2019(22): 46-47.
- [10] 郭洪毓. 防爆工业车辆的防爆检测要求[J]. 中国特种设备安全, 2024, 40(1): 51-53+57.
- [11] 蒋漳河, 汤鹏, 梁峻. 防爆工业车辆的安全技术及发展趋势[J]. 起重运输机械, 2019(9): 47-50.
- [12] 邵伟, 汤鹏, 梁峻. 防爆场车非电气点燃源及控制措施分析[J]. 起重运输机械, 2020(14): 69-72.
- [13] GB 25285. 1-2010 爆炸性环境 爆炸预防和防护 第 1 部分: 基本原则和方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [14] GB 25285. 5-2010 爆炸性环境 爆炸预防和防护 第 5 部分: 结构安全型“c”[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [15] 郝明锐. 基于 TRIZ 理论的矿用纯电动防爆车辆轻量化设计[J]. 煤炭技术, 2018, 37(11): 250-252.