**文章编号**：2097-5899(2025)02-0027-07　　**中图分类号**：U298.3　　**文献标识码**：A
**DOI**：10.16669/j.cnki.issn.2097-5899.202310240002
**引用格式**：王建国，李建国. 铁路危险货物运输智能检测及应急处置装置设计[J]. 铁路物流，2025，43(2)：27-33.
WANG Jianguo，LI Jianguo. Intelligent Detection and Emergency Device Design for Dangerous Goods in Railway Freight Transportation[J]. Railway Logistics，2025，43(2)：27-33.

# 铁路危险货物运输智能检测及应急处置装置设计

王建国，李建国

(中国铁路兰州局集团有限公司 货运部，甘肃 兰州 730000)

**摘　要**：铁路货运检测设备功能日渐成熟，但各类设备功能分散，集成化、智能化程度不高。基于危险气体、粉尘、温湿度、气压等传感器单元，通过NB-IoT数据传输技术，构建检测、预警、应急三位一体的智能终端设备，实现对危险气体、粉尘浓度以及环境温湿度、气压的实时检测，解决货物检测、应急预案处置、现场工作人员响应3个环节的脱节问题，进一步提升货运检查工作的安全程度和智能化水平。

**关键词**：铁路货运；智能检测；应急处置；数据传输；实时检测

## 0　引言

随着铁路科技的发展，货运检测设备的功能越来越先进，但是铁路危险货物运输的检测设备功能单一且存在缺陷，如现有的手持监测设备无法长时间进行监测和实时报警，一些大型监测设备体积过大不适用于铁路运输，以及缺乏预警能力等。由于现有检测设备对于各类风险情况难以及时做出科学评测，预警信息零散，过分依赖作业人员的经验，有可能出现异常情况处置措施不当或不及时等情况，给铁路货运生产带来安全隐患。智能检测技术具备高灵敏度、高精度、高可靠性等优点，智能检测作为一种预防事故的手段，龚洋[1]将传感阵列与模式识别技术相融合，构建了一种微型、便捷、低成本可用于特殊情况下对特定目标气体进行检测识别的无线探测系统；Jaeschke等[2]以3种半导体式传感器组成的传感器阵列，制造了智能检测人工电子鼻；李阳光[3]、王俊怡等[4]通过表面分子与纳米材料在一定程度上显著增强所制备电化学传感器的准确性与灵敏度；伍志林[5]针对自主避障、精准定位、智能感知和系统测试4个关键共性问题，实现了环境信息的智能采集、实时处理、无线收发和险情预警；孟凡利等[6]从静态性能指标与动态响应信号的对应关系出发，利用支持向量机算法验证动态响应信号的品质，在不同种类、不同浓度的气体中识别率达100%；孟广瑞等[7]设计了基于多传感器融合技术的煤矿智能巡检系统，通过可移动巡检机器人实现数据传输；梁光清[8]、曹江涛等[9]设计了基于红外光谱成像技术、激光检测技术的危险源监控终端。

综上所述，现有智能检测设备的研究不断发展，但是对于铁路货运的实际需求，还存在检测功能分散、集成程度不高，以及准确性、可靠性和适应性等方面的限制。为此，为实现对危险气体、粉尘浓度以及环境温湿度、气压的实时检测，基于危险气体、粉尘、温湿度、气压等传感器单元，采用NB-IoT数据传输技术，构建检测、预警、应急三位一体的智能终端设备，解决货物检测、应急预案处置、现场工作人员响应3个环节的脱节问题，以进一步提升货运检查工作的智能化水平。

**收稿日期**：2023-10-24
**基金项目**：中国铁路兰州局集团有限公司科研项目(LZJKY2023007-1)

## 1　铁路货运智能检测及应急处置装置设计

铁路货运智能检测及应急处置装置借助现有的通信网络，采用数据融合、物联网及可视化技术，实现货物运输数据采集、传输、存储及动态显示等功能。建立以货物运输安全为目的的智能决策终端，对货物安全情况进行科学评测；对存在问题发出预警，通过智能决策终端向用户反馈，根据反馈结果，结合运输环境，及时生成相应的应急处置预案，并通过手机、电脑等设备报警并启动预案，在设备上反馈处置措施。

### 1.1　硬件技术方案

在铁路货运智能检测及应急处置的研究中，硬件技术方案主要包括传感器的选取与集成智能传感器。

鉴于铁路运输的特殊性，考虑传感器在高原地区使用的稳定性以及极端天气使用的精准性，通过对不同种类传感器优缺点分析，电化学传感器不仅精度高、可靠性高、响应速度快、功耗低、成本低且不被其他气体干扰。不同种类传感器优缺点如表1所示。传感器集成流程如图1所示。数据采集过程如图2所示。

表1　不同种类传感器优缺点

Tab.1　Advantages and disadvantages of different types of sensors

| 传感器种类 | 优点 | 缺点 |
| --- | --- | --- |
| 电化学传感器 | 精度高、可靠性高、响应速度快且不被其他气体干扰；低功耗和良好的分辨率比大多数其他气体检测技术更经济 | 相较于其他气体传感器寿命较短 |
| 半导体式气体传感器 | 制造简单、灵敏度高；寿命长、对湿度敏感低，电路简单 | 必须在高温下工作，对气体或气味的选择性差；元件参数分散、稳定性不理想、功耗高 |
| 催化燃烧式气体传感器 | 指数可靠、价格便宜 | 只能测量可燃气体 |
| 红外原理气体传感器 | 精度高、选择性好、不依赖于氧气；受环境干扰因素较小、寿命长 | 仪器功耗大，制造成本较高；容易受到粉尘、湿度的影响 |
| 热导式气体传感器 | 检测范围大、工作稳定性好、使用寿命长、不存在触媒老化的问题；检测装置简单、价格便宜、使用维护方便 | 检测精度差、灵敏度低、温度漂移大 |

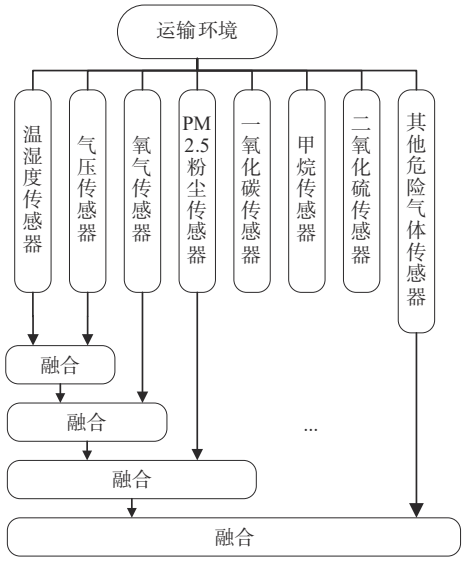



图1　传感器集成流程

Fig.1　Sensor integration process

### 1.2　软件技术方案

（1）数据传输与分析。铁路货运智能检测及应急处置装置中数据传输与分析为核心，在数据接收层经过大量的数据接收和交互后通过NB-IoT进行数据传输，然后与数据库中已存的爆炸下限(体积分数)/报警值分析对比。NB-IoT是一种低成本、低功耗、广覆盖、高可靠的无线通信技术，目前已在智能城市、智能路灯、智能停车系统及智能农业等领域得到广泛应用。NB-IoT主要包括物理层、MAC层、网络层和应用层。其中，物理层主要负责无线信号的传输和接收，MAC层控制和管理物理层的无线信号流程，网络层负责数据传输的路径选择和管理，应用层实现物联网设备的接入、数据交换和控制等功能，通过应用层，实现物联网设备和云平台之间的连接，完成数据的交换、设备的控制和管理等任务。NB-IoT整体架构如图3所示。

（2）智能决策终端。传统的应急处置多依靠现场工作人员的经验和直觉，本研究建立以货物运输安全为目的的智能决策终端，通过深度学习为计算机系统提供大量数据与对应的科学决策，从数据中学习规律，从而快速做出决策。智能终端能够做出更加准确和可靠的决策，降低基于主观判断的风险。

（3）可视化接收终端。接收终端(手持设备/电脑终端)上设定程序应用，可以实现列车危险气体、粉尘、温湿度、气压以及定位数据报告的可视化分析，为现场工作人员提供应急处置措施。

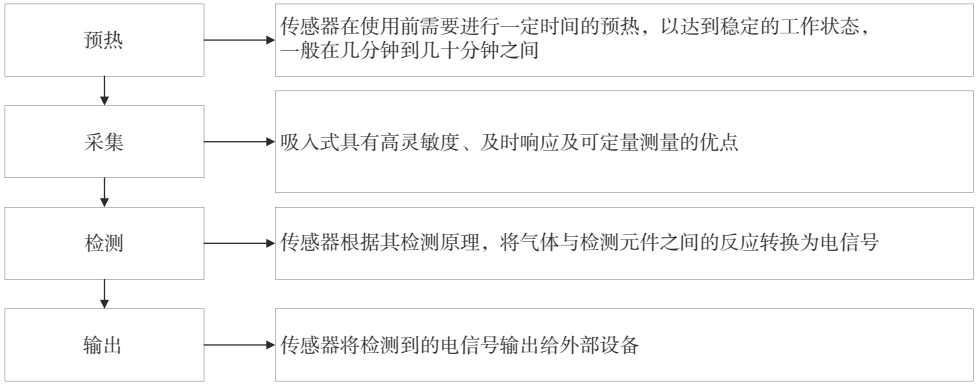



图2　数据采集过程

Fig.2　Data collection process

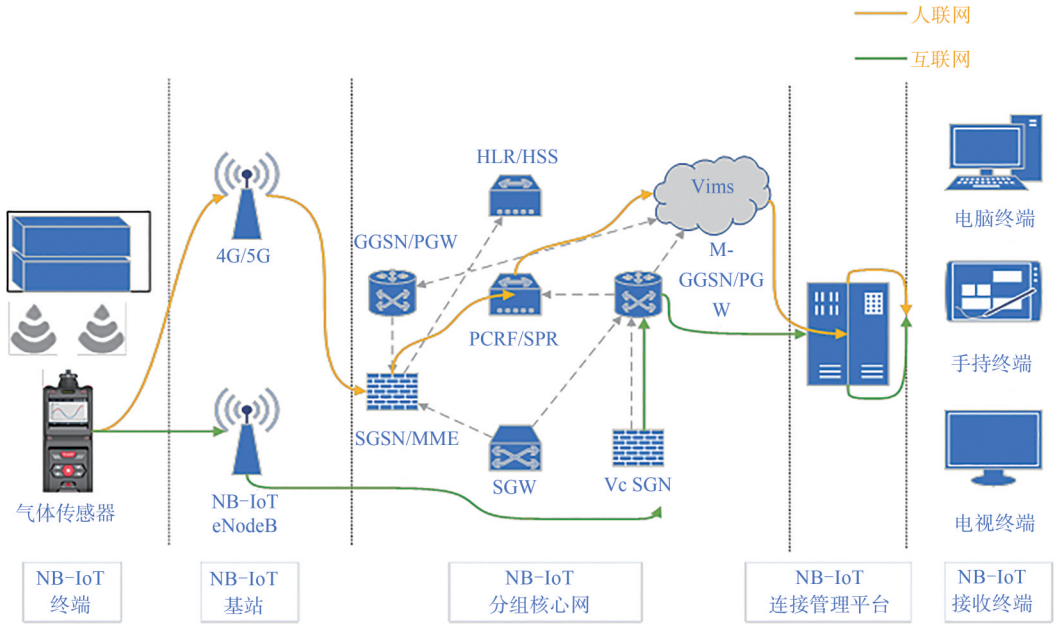



图3　NB-IoT整体架构

Fig.3　Overall architecture of NB-IoT

### 1.3　技术方案总体架构

铁路货运智能检测及应急处置关键技术方案总体架构如图4所示，主要分为感知层、网络层、数据接收层、数据处理层及用户层。

装置在感知层利用传感器集成检测危险气体、粉尘浓度温湿度、气压等，同时与数据库中设定的安全阈值进行对比；网络层是整个装置的核心，采用低成本、低功耗、广覆盖、高可靠的无线通信技术NB-IoT将感知层检测的数据传输至接收层；数据接收层主要功能是接收、管理和交互大量数据，通过模拟高原高寒环境，对该装置检测灵敏度及安全阈值进行测试；数据处理层包括检测异常预警与应急处置预案的生成；用户层通过上述流程后将应急处置方案传输至特定APP，显示在列车工作人员手持终端及车站调度室终端，并对每次数据进行记录。

## 2　铁路货运智能检测装置功能实现与效果分析

### 2.1　铁路货运智能检测装置功能实现

研究基于危险气体、粉尘、温湿度、气压等传感器单元，构建检测、预警、应急三位一体智能终端设备，采用数据融合、物联网和可视化技术，实现货物数据的采集、传输、存储及动态显示。环境数据采集系统可视化界面如图5所示。

货运智能检测装置中环境数据采集系统的可视化界面包含数据显示、参数设置及历史记录3个部分。其

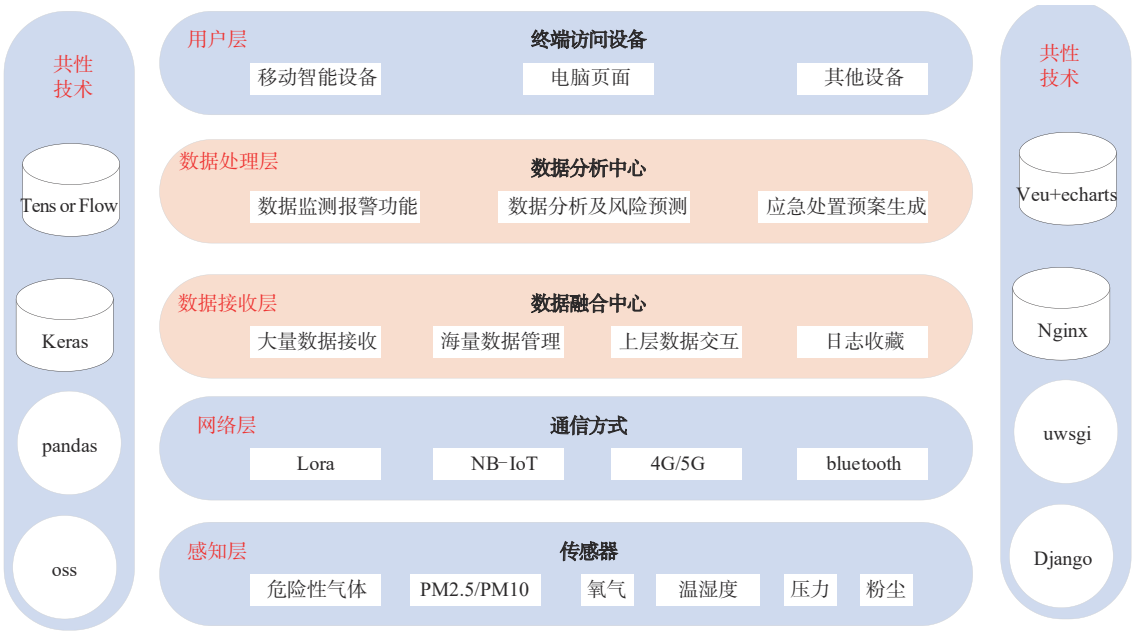



图4　技术方案总体架构

Fig.4　Overall architecture of technical solution




图5　环境数据采集系统可视化界面

Fig.5　Visualization interface of environmental data collection system

中，数据显示是对氧气、一氧化碳、甲烷等危险气体、粉尘、运输环境温湿度以及气压等数据实时显示，对于超过安全阈值的情况进行预警；由于不同地区对各类危险气体、温湿度等的安全阈值不同，参数设置部分将对各类危险气体、粉尘浓度以及温湿度、气压等进行安全阈值的设定，增强检测装置的适用性；历史记录数据实时更新，可以通过导出接口将其导出并进行数据分析，确定影响事故发生的关键因素。此外，装置配有北斗卫星定位，通过接口将其连接到装置上，可以实现经度、纬度实时更新，及时确定发生事故的精确位置，提高现场的应急处置效率。

货运智能检测装置功能实现流程如图6所示。

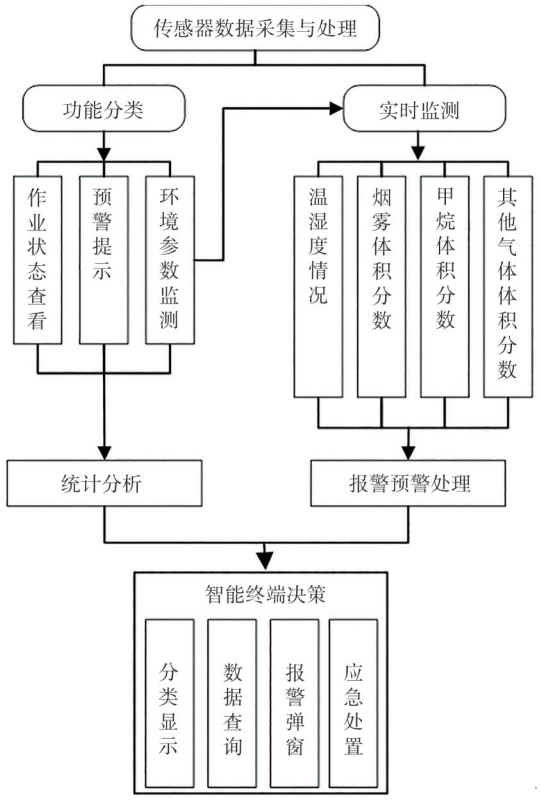



图6　货运智能检测装置功能实现流程

Fig.6　Realization process of intelligent freight detection device functions

## 2.2　检测效果及数据处理

检测效果包括实验舱的实验场景检测及高原地区

的应用场景检测，在不同环境下检测一氧化碳、二氧化碳、粉尘、甲烷浓度及温湿度并制定预警方案，还可以根据历史记录统计如影响人体安全、引起爆炸等事故的次数，并分析导致此类问题的主要因素。

2.2.1　实验场景检测

为实现检测装置准确度高、灵敏度高、稳定性强及待机时间长等特点，在高原环境模拟实验舱内，通过不断调整影响货物危险因素的气体含量、气压及温湿度进行周期性实验。结合高原地区铁路运输的长远发展与现实需求，高原环境模拟实验舱可以模拟高原高寒、风沙荒漠、山岭重丘等复杂环境，其中，温度范围为－40 ℃～150 ℃；湿度范围为20%～98% RH；压力范围为常压－30 kPa；内箱尺寸为3 000 mm×2 200 mm×5 000 mm，内容积约33 $m^3$。

2.2.2　应用场景检测

应用场景检测首先是对设备在高原地区车站进行检测，其次在货物列车内进行100次不同时间段一氧化碳、二氧化碳、粉尘、甲烷浓度检测。列车采集数据情况如图7所示。

根据《石油化工可燃气体和有毒气体检测报警设计标准》(GB/T 50493—2019)、《可燃气体探测器》(GB/15332.1—2019)及《室内空气质量标准》(GB/T 18883—2022)设定检测危险气体爆炸下限(体积分数)/报警值，并记录引起身体不适与可能引起爆炸的次数。检测记录如表2所示。参数变化趋势图如图8所示。

表2　检测记录

Tab.2　Detection records

| 气体种类 | 爆炸下限（体积分数）/报警值 | 引起身体不适次数 | 可能引起爆炸次数 | 次数 |
|---|---|---|---|---|
| 一氧化碳 | 报警值16 ppm | 4 | 2 | 6 |
| PM2.5 | 报警值0.05 mg/$m^3$ | 28 | — | 28 |
| 甲醛 | 体积分数5.5% | 3 | 1 | 4 |
| 温度 | 报警值18 ℃~20 ℃ | 15 | — | 15 |
| 湿度 | 报警值50%~70% | 28 | — | 28 |
| 甲烷 | 体积分数5.0% | 6 | 2 | 8 |

根据图8可知，在货物列车检测中温度、湿度及PM2.5会多次达到引起身体不适的含量，但由于温湿度及PM2.5超出安全限值时容易调整，因此重点分析引起身体不适和可能导致爆炸的甲烷超标应急预案。

2.2.3　应急处置

铁路危险货物运输事故应急处置包括信息处理阶段与应急响应阶段，通过危险源辨识及风险分析，根据不同的危险源类别启动应急处置预案。应急处置信息反馈图如图9所示。

在货场测得8次甲烷超标后，根据货场的位置及现有应急设备制定了甲烷应急措施如图10所示。实际操作证明该应急流程能够及时调动应急人员，同时制定的应急措施显著降低了货物经济损失，减少了应急时间，提高了铁路货运的可靠性。




图7　列车采集数据情况

Fig.7　Train data collection

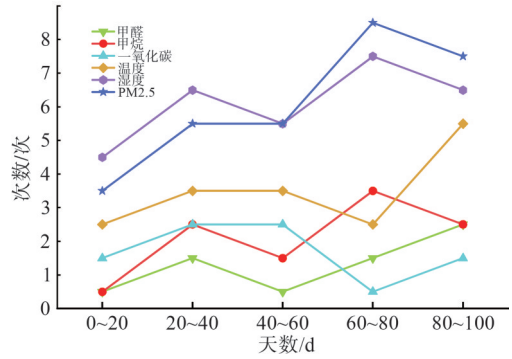



图8　参数变化趋势图

Fig.8　Variation trend of parameters

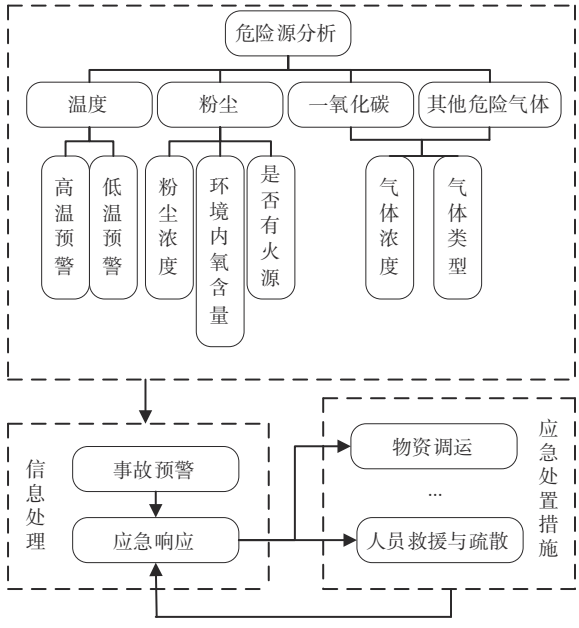



图9　应急处置信息反馈图

Fig.9　Emergency response information feedback

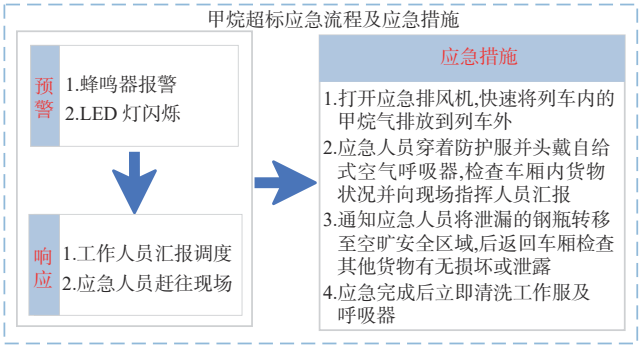



图10　甲烷应急措施

Fig.10　Methane emergency measures

## 3　结束语

针对铁路危险货物运输需求，设计了一款检测危险气体、粉尘物质浓度以及温湿度、气压的智能装置，通过使用各类传感器对运输环境数据进行采集，将数据的实时变化情况进行反馈，并对实时数据进行本地存储及动态显示；通过NB-IoT技术进行数据传输，最后实现检测数据可视化处理。检测装置实现了危险气体、粉尘浓度、温湿度、气压等环境数据信息查看、统计分析以及预警、警报等功能，现场工作人员可根据反馈信息及时调整控制，并启动应急预案，解决了货物检测、应急预案处置、现场工作人员响应3个环节脱节问题，进一步提升了货运检查工作的安全程度和智能化水平。

## 参考文献：

[1] 龚　洋. 基于传感器阵列的危险污染气体检测系统设计与研究[D]. 盐城：盐城工学院，2023.

[2] JAESCHKE C，GLÖCKLER J，PADILLA M，et al. An eNose-based Method Performing Drift Correction for Online VOC Detection under Dry and Humid Conditions[J]. Analytical Methods：Advancing Methods and Applications，2020，12(39)：4724-4733.

[3] 李阳光. 基于表面印迹的常见农药电化学传感器构建及应用研究[D]. 石河子：石河子大学，2022.

[4] 王俊怡，郎晋荣，郝　月，等. MOFs复合材料在电化学传感器中的研究与应用[J]. 湖北科技学院学报(医学版)，2022，8(4)：354-357.

[5] 伍志林. 危险气体巡检小车系统的设计与研究[D]. 重庆：重庆大学，2022.

[6] 孟凡利，季瀚洋，苑振宇，等. 二氧化锡传感器对挥发性有机物的动态测试方法研究[J]. 自动化学报，2022，48(3)：926-934.
MENG Fanli，JI Hanyang，YUAN Zhenyu，et al. Study on Dynamic Testing Method of Volatile Organic Compounds by Tin Dioxide Sensor[J]. Acta Automatica Sinica，2022，48(3)：926-934.

[7] 孟广瑞，杨　闯. 基于多传感器融合的煤矿危险气体巡检系统[J]. 煤矿安全，2021，52(12)：128-132.
MENG Guangrui，YANG Chuang. Coal Mine Dangerous Gas Inspection System Based on Multi-Sensor Fusion[J]. Safety in Coal Mines，2021，52(12)：128-132.

[8] 梁光清. 基于激光甲烷检测技术的危险源气体监控终端的设计[J]. 自动化与仪器仪表，2021(1)：108-111.
LIANG Guangqing. Design of Hazardous Source Gas Monitoring Terminal Based on Laser Methane Detection Technology[J]. Automation & Instrumentation，2021(1)：108-111.

[9] 曹江涛，李泉成，班　铭，等. 基于红外光谱成像的危险气体泄漏检测技术综述[J]. 科学技术与工程，2023，23(19)：8050-8060.
CAO Jiangtao，LI Quancheng，BAN Ming，et al. Review of Hazardous Gas Detection Technology Based on Infrared Spectral Imaging [J]. Science Technology and Engineering，2023，23(19)：8050-8060.

（责任编辑：金　颖）

# Intelligent Detection and Emergency Device Design for Dangerous Goods in Railway Freight Transportation

**WANG Jianguo,　LI Jianguo**

(Freight Department, China Railway Lanzhou Group Co., Ltd., Lanzhou 730000, Gansu, China)

**Abstract:** The functions of railway freight inspection equipment have become increasingly mature. However, various types of equipment have scattered functions, low integration, and inadequate intelligence. This article, based on sensors for hazardous gases, dust, temperature, humidity, and air pressure, used NB-IoT data transmission technology to construct an intelligent terminal device integrating detection, early warning, and emergency response, achieving real-time detection of hazardous gases, dust concentrations, environmental temperature, humidity, and air pressure. It solved the problem of disconnection in cargo detection, emergency plan disposal, and on-site staff response, further enhancing the safety and intelligence level of freight inspection work.

**Keywords:** Railway Freight; Intelligent Detection; Emergency Response; Data Transmission; Real-Time Detection