

团 体 标 准

T/CIAD XXXX-XXXX

货车故障图像智能识别系统技术规范

Technical specification for intelligent recognition system of truck
fault images

(征求意见稿)

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中国城乡发展国际交流协会

发布

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 缩略语	1
5 基本规定	1
6 系统架构	2
7 技术要求	4
8 系统运行	6
9 系统运维	7
附录 A （规范性） 典型故障识别类型及权重	10

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。

本文件由慧铁科技股份有限公司提出。

本文件由中国城乡发展国际交流协会归口。

本文件起草单位：慧铁科技股份有限公司。

本文件主要起草人：×××

货车故障图像智能识别系统技术规范

1 范围

本文件规定了货车故障图像智能识别系统的缩略语、基本规定、系统架构、技术要求、系统运行、系统运维的要求。

本文件适用于货车故障图像智能识别系统的设计、开发、部署、运行及运维管理。

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 21437.2 道路车辆 电气/电子部件对传导和耦合引起的电骚扰试验方法 第2部分：沿电源线的电瞬态传导发射和抗扰性

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

货车故障动态图像检测系统 truck fault dynamic image detection system

融合计算机技术、网络通信技术、自动控制技术及图像采集处理技术与铁路车辆专业知识，对运行中的货车关键部件进行图像采集、分析和故障识别的人机协同系统。

3.2

智能识别 intelligent recognition

运用图像处理算法与机器学习模型，对货车部件图像进行预处理、特征提取与样本比对，自动识别故障类型、位置及严重程度的过程。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CPU：中央处理器（Central Processing Unit）

AES：高级加密标准（Advanced Encryption Standard）

HTTP：超文本传输协议（Hypertext Transfer Protocol）

JSON：JavaScript 对象表示法（JavaScript Object Notation）

5 基本规定

5.1 基本原则

5.1.1 安全优先原则

优先保障重大故障识别的完整性和准确性，杜绝重大安全隐患漏判，核心故障识别零遗漏。

5.1.2 通用适配原则

系统设计应兼容不同类型货车、不同现场监测设备及不同运行环境，具备广泛适用性。

5.1.3 高效实用原则

简化作业流程，提升故障识别和处置效率，降低人工依赖，明确系统易操作、易维护。

5.1.4 持续优化原则

支持算法模型迭代、功能升级，依托数据积累持续提升识别性能，适配铁路货运安全发展需求。

5.1.5 合规安全原则

系统建设、运行及数据管理应符合国家及铁路行业相关法律法规、技术规范和安全要求。

5.2 适用范围

适用于各类铁路货运干线、编组站、区段站等货车运行关键场所，适配 5 km/h ~ 120 km/h 运行速度的各类主流及特殊货车车型，能对货车关键部件开展故障检测。系统可于高低温、潮湿、暴雨、大雾等不同气候条件、不同地理环境的铁路运营区域稳定工作，匹配各类现场运行场景需求。

6 系统架构

6.1 架构图

系统采用“现场采集层-区域处理层-全局管控层”三级松耦合架构模式，各级单元独立部署、协同工作，支持区域级单独部署运用，可于全局层面进行统一优化和指导，系统总体架构如图 1 所示，区域级部署架构如图 2 所示。

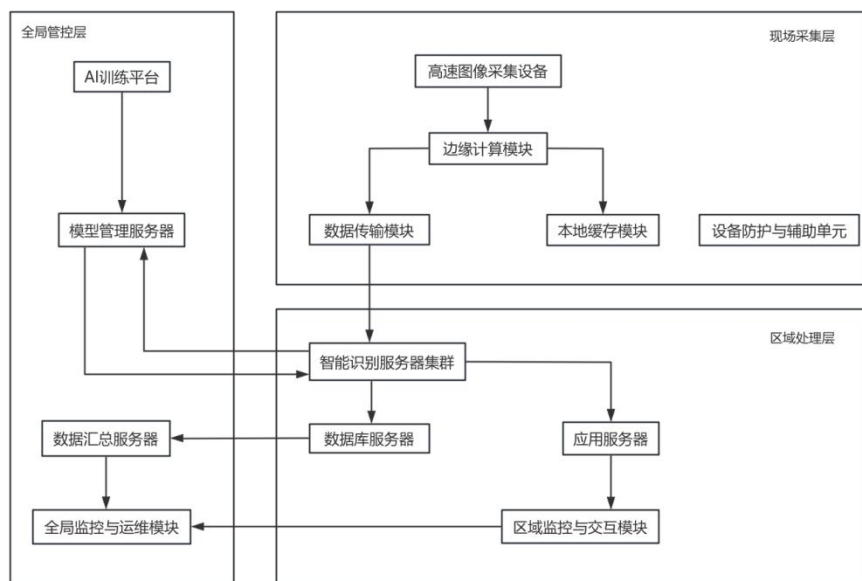


图 1 系统总体架构图

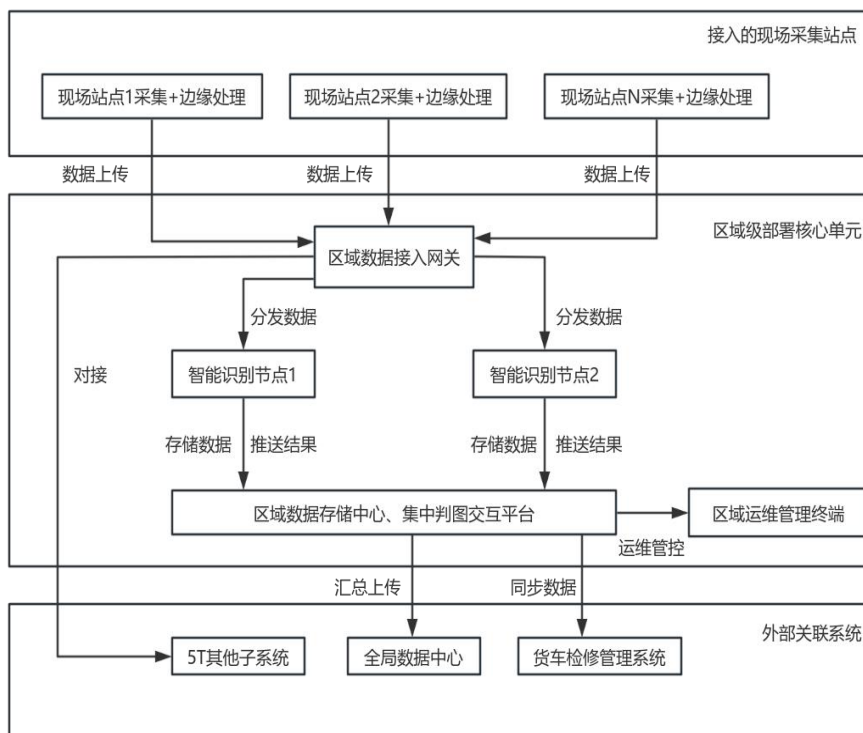


图2 区域级部署架构图

6.2 现场采集层

现场采集层作为系统前端采集单元，部署于铁路沿线现场监测站点，由图像采集设备、边缘计算模块、数据传输模块及辅助设备（电源、防护装置等）组成，功能及配置应符合下列各项：

- 图像采集：采用高速摄像设备，在货车运行过程中实时采集车底、转向架、制动梁、车钩钩缓等关键部位图像；
- 初步处理：通过边缘计算模块对采集图像进行降噪、增强等预处理，剔除无效图像；
- 数据上传：将预处理后的图像数据及过车实时信息通过专用网络上传至区域处理层；
- 本地缓存：具备本地数据缓存功能，网络中断时可缓存图像数据，网络恢复后自动补传；
- 设备适配：支持主流型号现场监测设备接入。

6.3 区域处理层

区域处理层部署于区域级车辆检修管理场所，由智能识别服务器、数据库服务器、应用服务器及网络设备组成，功能及配置应符合下列各项：

- 硬件配置：配置神经网络处理单元服务器、中央处理器服务器、缓存服务器，均应采用符合国家信息安全要求的操作系统；
- 智能识别：智能识别服务器与现场采集层监测站点对应部署，搭载智能识别模型及经验证成熟的算法，对前端上传图像进行故障智能识别，支持制动机缓解不良、截断塞门等故障识别；
- 数据存储：数据库服务器集中存储智能识别结果、故障图像及过车信息，支持主流关系型数据库适配；
- 人机交互：通过标准化检车作业平台为集中判图人员提供图像复核、故障确认、处置跟踪等操作界面；

- e) 数据转发：将确认后的故障信息及关键数据上传至全局管控层，同时接收全局管控层下发的算法模型及配置参数。

6.4 全局管控层

全局管控层部署于铁路全局级数据中心，由人工智能训练平台、模型管理服务器、数据汇总服务器组成，功能应符合下列各项：

- a) 模型训练：基于全路范围内上传的故障样本数据进行模型训练优化；
 b) 模型管理：对训练后的算法模型进行版本管理、精度跟踪及溯源，支持模型统一推送和差异化部署；
 c) 数据汇总：汇总各区域处理层上传的故障数据、系统运行数据，进行大数据分析，为检修策略优化提供支撑；
 d) 全局管控：通过全局任务管理系统对全系统运行状态进行集中监控，支持远程运维、故障预警及性能评估。

6.5 接口要求

系统各层级之间及与外部系统的接口应采用统一标准，具体应符合下列各项：

- a) 接口协议：采用 HTTP/2 或 WebSocket 协议，数据传输采用 JSON 格式封装，支持扩展字段；
 b) 数据加密：传输数据采用 AES-256 加密算法，身份认证采用令牌机制，明确数据传输安全；
 c) 兼容性：支持不同厂家、不同型号现场监测设备接入；
 d) 传输保障：数据发送失败时自动重试，重试次数、重试间隔可配置，外部关联平台异常时支持超时时继续重试。

7 技术要求

7.1 图像采集

应符合表 1 中的要求。

表 1 图像采集

项目	技术指标	备注
采集速率	$\geq 1\,000$ 帧/秒	支持动态采集，适配 5 km/h ~ 120 km/h 货车运行速度
单车采集图像数量	$\geq 4\,800$ 张	覆盖车底、转向架等关键部位
图像分辨率	$\geq 1\,920 \times 1\,080$ 像素	彩色图像，24 位真彩色
图像清晰度	部件细节辨识度 $\geq 95\%$	可清晰识别裂纹、螺栓及拉环等细小部件状态
环境适应性	工作温度：- 20 °C ~ 60 °C	支持暴雨、大雾、高温、低温等极端天气工作
	相对湿度：5% ~ 95%（无凝露）	
	防护等级：IP 65	
补光功能	红外补光，补光距离 ≥ 5 m，夜间图像识别率 $\geq 95\%$	无眩光干扰，不影响行车安全

7.2 智能识别

7.2.1 识别性能

应符合表 2 中的要求。

表 2 识别性能

项目	技术指标
A 类故障识别率	100%
B 类故障识别率	$\geq 99.1\%$
B 类典型故障识别率	$\geq 98.9\%$
C 类故障识别率	$\geq 99.1\%$
重大故障漏检率	$\leq 0.01\%$
单列识别耗时	$\leq 1 \text{ min}$
并发处理能力	≥ 4 列车同时处理
支持故障类型	≥ 438 类*
单卡每秒识别图片数	≥ 1.05 张
注：*具体类别及明细应结合实际情况进一步明确。	

7.2.2 故障权重与事故车判定

系统应支持根据故障权重分值输出疑似事故车故障功能，典型故障识别类型及权重见附录 A。事故车判定应符合下列各项要求：

- 事故车阈值应可配置，配置精度为小数点后 2 位，取值范围 0.01 ~ 10.00；
- 同一车辆或同一部件存在多项故障时，故障权重分值累加计算；
- 权重分值 \geq 设定阈值时，自动生成事故车故障预警；权重分值 $<$ 设定阈值时，不生成事故车故障预警；
- 连续 3 辆车包含截断塞门手把关闭、防跳插销未插设等关键故障时，无论权重分值是否达标，均应生成事故车故障预警。

7.2.3 算法迭代

系统算法应支持持续迭代优化，迭代过程不影响系统正常运行，具体应符合下列各项：

- 迭代过程对系统性能影响 $\leq 5\%$ ，无业务中断现象；
- 新算法部署后，针对本文件附录 A 所列历史漏报故障的召回率应 $\geq 95\%$ ；
- 支持算法版本回退功能，回退时间 $\leq 5 \text{ min}$ ，回退后系统功能需满足本文件 7.2 节智能识别技术要求，数据无丢失；
- 迭代优化应重点降低高频误报故障的误报率。

7.3 系统性能

7.3.1 处理能力

- 单现场监测站点日均处理能力 $\geq 1\ 000$ 列。
- 单区域处理层应可支持 ≥ 50 个现场监测站点接入，并发处理能力稳定。
- 集中判图大厅单厅日均处理图像 ≥ 80 万张。
- 辆均故障预报数 ≤ 4 件，优化后版本较上一版本劣化幅度 $\leq 10\%$ 。

7.3.2 数据库性能

- 数据库查询响应时间 $\leq 2 \text{ s}$ 。

7.3.2.2 支持数据压缩存储，压缩比 $\geq 4 : 1$ ；数据保存时间 ≥ 3 年，过期数据可自动迁移或删除，迁移 / 删除过程不影响系统运行。

7.3.2.3 支持海量故障数据快速检索，检索准确率 $\geq 99.9\%$ 。

7.3.3 部署性能

7.3.3.1 支持反亲和性部署，同一节点仅运行一个系统实例。

7.3.3.2 滚动升级时间 ≤ 30 min，升级过程中系统业务中断时间 ≤ 1 min。

7.3.3.3 系统启动时间 ≤ 5 min，服务启动时应打印配置信息，支持定时打印配置信息功能。

7.3.3.4 容器化部署环境中，容器健康检查通过率 $\geq 99.9\%$ ，容器重启时间 ≤ 1 min。

7.4 环境适应性

应符合表 3 中的要求。

表 3 环境适应性

环境参数	要求	适配场景
工作温度	现场采集层设备：- 20 °C ~ 60 °C； 区域处理层、全局管控层设备：0 °C ~ 40 °C	高低温地域运营场景
相对湿度	5% ~ 95%（无凝露）	潮湿地域运营场景
电源电压	AC 220 V \pm 10%，50 Hz \pm 1 Hz	全路各运营场所通用
抗干扰性	符合 GB/T 21437.2 中电磁兼容要求	铁路沿线强电磁环境
振动	现场采集层设备：频率 10 Hz ~ 150 Hz，加速度 2 g； 区域处理层、全局管控层设备：频率 10 Hz ~ 50 Hz，加速度 0.5 g	铁路沿线振动环境

8 系统运行

8.1 运行环境

8.1.1 硬件环境

符合本文件 6.2 章节区域处理层硬件配置要求，现场采集层设备防护等级达标，无硬件故障隐患。

8.1.2 软件环境

8.1.2.1 智能识别模型需满足 A 类故障识别率 100%、重大故障漏检率 $\leq 0.01\%$ 等核心技术要求，适配附录 A 全量典型故障类型识别。

8.1.2.2 经验算法需实现与故障识别模型的协同适配，故障识别匹配度 $\geq 99\%$ 。

8.1.2.3 检车作业平台需支持集中判图、故障确认、处置跟踪全流程操作，响应时间 ≤ 2 s。

8.1.2.4 任务管理系统需具备全局运行监控、远程运维、性能评估及模型推送功能，支持多层级权限管控。

8.1.3 资源配置

中转服务 4 个实例、模型服务 14 个实例、经验算法 2 个实例、任务管理系统 2 个实例；

8.1.4 网络环境

单现场监测站点数据传输带宽 ≥ 100 Mbps，网络延迟 ≤ 3 s，数据传输成功率 $\geq 99.99\%$ 。

8.2 运行监控

8.2.1 系统应具备全流程运行监控功能，监控范围覆盖现场采集层设备、区域处理层服务器、全局管控层平台及网络传输链路。

8.2.2 监控指标包括设备运行状态、图像采集成功率、故障识别准确率、漏报率、误报率、数据传输延迟、服务器资源利用率等。

8.2.3 服务器 CPU 利用率 $\leq 80\%$ 、内存利用率 $\leq 85\%$ 、磁盘利用率 $\leq 90\%$ ，超出阈值时自动报警。

8.2.4 监控数据实时更新，更新频率 $\leq 1 \text{ min}$ ，支持监控数据历史查询，查询周期 $\geq 90 \text{ d}$ 。

8.3 故障处置

8.3.1 系统应具备故障自诊断功能，可诊断硬件故障、软件故障及网络故障，故障诊断准确率 $\geq 99\%$ 。

8.3.2 故障发生时自动报警，报警方式包括声音报警、灯光报警及短信报警，报警响应时间 $\leq 10 \text{ s}$ 。

8.3.3 常见故障处置时间 $\leq 30 \text{ min}$ ，重大故障处置时间 $\leq 2 \text{ h}$ 。

8.3.4 故障处置过程应留有记录，记录内容应包括故障时间、故障类型、处置措施、处置人员、处置结果等，记录保存时间 $\geq 1 \text{ 年}$ 。

8.4 连续性

8.4.1 系统年均运行时间 $\geq 8760 \text{ h}$ ，年均故障中断时间 $\leq 24 \text{ h}$ ，可用性 $\geq 99.7\%$ 。

8.4.2 网络中断时，现场采集层应自动启动本地缓存功能，缓存数据在网络恢复后自动补传，无数据丢失。

8.4.3 系统升级、维护过程中，应采用滚动升级方式，明确业务不中断。

8.4.4 多现场监测站点并发运行时，单个站点故障不影响其他站点正常工作。

9 系统运维

9.1 日常维护

9.1.1 维护周期与内容

应符合表 4 中的要求。

表 4 维护周期与内容

维护周期	维护内容	维护责任人
每日	检查设备运行状态、监控指标，清理临时文件，查看运行日志	现场运维人员
每周	检查图像采集质量，测试故障识别准确率，备份关键数据	现场运维人员 + 技术支持人员
每月	检查服务器资源利用率，清理过期数据，测试系统备份恢复功能	技术支持人员
每季	全面检修现场采集层设备，优化算法模型参数，开展系统性能测试	技术支持人员 + 研发人员
每年	更换老化硬件设备，开展系统全流程性能测试与优化，更新故障样本库	研发人员 + 运维团队

9.1.2 维护记录

9.1.2.1 所有维护工作均应留有书面或电子记录，记录内容完整、准确、规范。

9.1.2.2 维护记录应包括维护时间、维护内容、维护过程、维护结果、发现问题及处理措施等。

9.1.2.3 维护记录保存时间 ≥ 3 年，支持快速检索和查阅

9.1.2.4 定期对维护记录进行分析，总结故障规律，优化维护策略。

9.2 版本管理

9.2.1 建立系统版本管理制度，对模型版本、软件版本、算法版本进行统一管理，版本编号规则规范。

9.2.2 版本升级前应进行充分测试，测试内容应包括功能完整性、性能稳定性、兼容性等，测试合格后方可部署。

9.2.3 版本升级应制定详细的升级方案，明确升级步骤、责任人、升级时间及回退预案。

9.2.4 特殊现场升级时，应匹配适配硬件的专用组件及相关驱动、固件，升级后系统性能需满足本文件 7.3 节系统性能要求。

9.2.5 版本历史记录应保存完整，应包括版本内容、升级时间、升级范围、升级效果等，应支持版本溯源。

9.3 故障修复

应建立故障分级处置机制，根据故障影响范围和严重程度分为一般故障、重大故障和特别重大故障，分级处置，应符合下列各项要求：

- a) 一般故障：仅影响单个现场监测站点局部功能，处置时限 ≤ 30 min，由现场运维人员独立处置，处置完成后 1 h 内完成记录归档；
- b) 重大故障：影响单个区域处理层正常运行，或多个现场监测站点功能失效，处置时限 ≤ 2 h，由技术支持人员牵头、现场运维人员配合处置，处置过程每 30 min 上报一次进展；
- c) 特别重大故障：影响全局管控层功能，或多个区域处理层瘫痪，可能导致全路货车故障监测中断，处置时限 ≤ 4 h，由研发团队、技术支持团队及运维团队联合处置，立即启动应急响应机制，同步上报上级主管部门；
- d) 故障修复后需进行验证测试，一般故障修复验证时间 ≤ 10 min，重大及以上故障修复验证时间 ≤ 30 min，验证合格后方可恢复系统正常运行；
- e) 应建立故障闭环管理机制，所有故障从发现、上报、处置、验证到归档，形成完整闭环，闭环周期一般故障 ≤ 2 h，重大故障 ≤ 4 h，特别重大故障 ≤ 8 h；
- f) 应定期开展故障复盘，每月汇总故障类型、处置情况及根因分析，形成故障复盘报告，针对高频故障制定预防性措施，降低同类故障复发率 $\geq 30\%$ 。

9.4 应急运维

系统应建立应急运维机制，应对突发故障、极端天气、自然灾害等突发情况，系统核心功能应不中断，应符合下列各项：

- a) 制定专项应急预案，应包括设备故障应急方案、网络中断应急方案、极端天气应急方案等，应急预案应明确应急组织架构、责任分工、处置流程及应急资源；
- b) 配备应急物资，应包括备用采集设备、服务器、网络设备、应急电源等，关键应急物资储备量满足至少 2 个现场监测站点或 1 个区域处理层的应急替换需求；
- c) 定期开展应急演练，每半年至少开展 1 次综合应急演练，每季度开展 1 次专项应急演练，演练后及时总结优化应急预案；
- d) 突发情况发生时，优先保障核心功能正常运行，必要时启动应急备用系统，明确故障监测不中断；
- e) 应急处置完成后，24 h 内完成应急处置总结，分析事件原因，优化应急措施和应急预案。

9.5 运维人员

9.5.1 系统运维人员应具备相应专业能力，匹配运维工作需求，应符合下列各项：

- a) 现场运维人员：具备基础硬件设备安装、调试及故障排查能力，熟悉系统基本操作流程，经培训合格后方可上岗，每年至少参加 1 次专业技能复训；
- b) 技术支持人员：具备服务器、网络设备及软件系统的运维能力，熟悉智能识别模型及算法基本原理，能独立处置重大故障，具备一定的问题分析和解决能力；
- c) 研发运维人员：具备系统研发、算法优化及复杂故障处置能力，能快速响应特别重大故障，负责系统版本升级、算法迭代及技术难题攻克。

9.5.2 宜建立运维人员培训体系，定期开展技能培训、安全培训及新技术培训，确保运维人员适配系统升级和技术发展需求。

附 录 A
(规范性)
典型故障识别类型及权重

应如图 A.1 中所示。

表 A.1 典型故障识别类型及权重

故障等级	典型故障名称	权重分值	故障说明	识别要求
A类(重大故障)	制动梁折断	10.00	制动梁主体、支柱或拉杆发生断裂，直接影响货车制动安全	识别率 100%，漏检率 0
A类(重大故障)	车轴裂纹 / 断裂	10.00	车轴本体出现可见裂纹或完全断裂，极易引发脱轨、燃轴事故	识别率 100%，漏检率 0
A类(重大故障)	截断塞门手把关闭	8.50	制动截断塞门手把处于关闭状态，导致车辆制动失效	识别率 100%，漏检率 $\leq 0.01\%$
B类(重大故障)	闸调器破损	3.20	闸调器壳体破损、部件缺失或功能失效，影响制动间隙调节	识别率 $\geq 99.1\%$
B类(重大故障)	摇枕弹簧折断	2.80	摇枕弹簧单根或多根折断，影响车辆运行稳定性	识别率 $\geq 99.1\%$
B类(重大故障)	防跳插销未插设	4.50	车钩防跳插销未按规定插设，存在车钩分离风险	识别率 $\geq 98.9\%$
C类(重大故障)	风缸连接管渗漏	0.80	风缸连接管接头或管壁渗漏风，影响制动风压稳定性	识别率 $\geq 99.1\%$
C类(重大故障)	缓解阀拉杆丢失	0.50	缓解阀拉杆缺失，影响制动缓解操作	识别率 $\geq 99.1\%$
C类(重大故障)	螺栓松动 / 缺失	0.30	关键部件固定螺栓松动、脱落或缺失，未影响核心功能	识别率 $\geq 99.1\%$
<p>注1: 权重分值取值范围 0.01 ~ 10.00, 精度为小数点后 2 位;</p> <p>注2: 本表仅列出典型故障类型, 完整故障类型及权重清单可由系统运维单位根据实际运营需求补充修订;</p> <p>注3: 同一车辆多项故障时, 权重分值累加计算, 累加后 \geq 设定阈值(默认 5.00) 即判定为疑似事故车;</p> <p>注4: 连续 3 辆车出现A类故障或防跳插销未插设、截断塞门手把关闭等关键B类故障, 无论权重累加值是否达标, 均判定为疑似事故车。</p>				