

文章编号: 1674—8247(2021)04—0021—08  
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2021.04.005

## 极端条件下铁路基础设施检测保障技术研究

张茂轩 孙善超 杨飞 孙加林 张玉华

(中国铁道科学研究院集团有限公司, 北京 100081)

**摘要:**基础设施检测是铁路“检养修”体系中的重要一环,是保障列车安全平稳运行的重要手段,某些极端环境下,特殊的工程环境使得现有的铁路基础设施检测和养护维修技术装备已无法全面满足需求。基于此,本文从工务、电务、供电等多专业角度出发,分析了极端环境下铁路基础设施的特殊检测要求,并依据轨道交通的可靠性、可用性、可维修性和安全性(RAMS)理论,提出了适用于极端自然环境下的铁路基础设施检测保障体系,保障基础设施的安全服役状态。

**关键词:**极端条件; 基础设施; 检测技术; 智能化

中图分类号:U216 文献标志码:A

## Study on Inspection and Safeguard Technology for Railway Infrastructure under Extreme Conditions

ZHANG Maoxuan SUN Shanchao YANG Fei SUN Jialin ZHANG Yuhua

(China Academy of Railway Sciences Corporation Limited, Beijing 100081, China)

**Abstract:** Infrastructure inspection is an important part of the railway "inspection, maintenance, and repair" system and an important means to ensure the operation safety and stability of trains. However, the existing railway infrastructure inspection and maintenance technologies and equipment cannot fully meet these demands under some extreme conditions. Based on this fact, this paper analyzes the special requirements of railway infrastructure inspection in the extreme environment from the perspectives of track maintenance, communication and signaling, power supply, and puts forward the guarantee system for railway infrastructure inspection system for train operation safety suitable for the extreme environment based on the theory of Reliability, Availability, Maintainability, and Safety (RAMS) for rail transit, so as to ensure the service safety of the infrastructure.

**Key words:** extreme conditions; infrastructure; inspection technology; intelligentization

极端环境下的铁路工程需要面对崇山峻岭、地形高差、地震频发、复杂地质、季节冻土、山地灾害、高原缺氧以及生态环保等建设难题<sup>[1-2]</sup>。同时,建设完成后,长期养护维修过程中还将面临地震、落石、泥石流、

滑坡等突发自然灾害以及高地热引起的隧道基础设施变形、长大坡道条件下钢轨伤损等一系列问题,对基础设施检测工作提出了严峻挑战。

基础设施检测工作在我国高速、普速以及重载铁

收稿日期:2021-05-14

作者简介:张茂轩(1992-),男,研究实习员。

基金项目:中国国家铁路集团有限公司科技研究开发计划课题(2019F002);中国铁道科学研究院集团有限公司基金项目(2020YJ067);中国国家铁路集团有限公司科技研究开发计划课题(P2020T001)

引文格式:张茂轩,孙善超,杨飞,等.极端条件下铁路基础设施检测保障技术研究[J].高速铁路技术,2021,12(4):21-28.

ZHANG Maoxuan, SUN Shanchao, YANG Fei, et al. Study on Inspection and Safeguard Technology for Railway Infrastructure under Extreme Conditions[J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(4):21-28.

路基础设施养护维修过程中发挥着维修决策支撑作用。极端条件下,基础结构材料与形式复杂、服役条件复杂、维持高品质困难等使得准确把握基础结构多维度时空变化的动态服役性能困难重重。同时,极端条件下复杂的线路条件及特殊的工程环境不仅会导致灾害多发,也使得病害的检查和发现更加困难。现有的铁路基础设施检测和养护维修技术装备已无法全面满足极端条件下的铁路基础设施检测需求,亟需研发一系列适用于极端条件下复杂艰险地区的铁路基础设施智能检测装备,保障铁路基础设施的安全服役状态。

## 1 极端条件下基础设施检测需求

### 1.1 轨道几何检测需求

轨道检测系统对极端条件下的铁路轨道进行动态检测,需能够全面掌握线路质量状态,指导工程人员针对性地养护维修,减少盲目性,降低维修成本;能够及时发现危及行车安全的轨道病害,杜绝安全隐患;能够科学地评价不同区段的线路质量状态,检验维修作业的效果,作为各级管理部门进行线路质量宏观管理和检查考核的重要依据。同时,还需能够在极端自然环境下具备无人值守功能,检测项目包括基本轨道几何项目(轨距、左高低、右高低、左轨向、右轨向、水平、三角坑)、车体响应(车体横向加速度、车体垂向加速度)和辅助性评判指标(轨道质量指数、轨距变化率、曲率变化率)。

### 1.2 车辆动态响应检测需求

#### 1.2.1 全频段车辆动态响应信号采集需求

受特殊的地理、地质以及气候条件影响,某些线路自然条件极端特殊,海拔落差大、坡度陡以及高地应力等因素可能导致后期运营过程中线路几何形位及钢轨表面状态发生较大变化,进而引发车辆动态响应的异常。而轨道状态直接决定轨道-车辆系统运行的安全性和舒适性<sup>[3]</sup>,轨道状态通过轮对传递到车辆上,不同频段的轨道状态可在轴箱、构架、车体上分别产生不同响应,因此需采集全频段车辆动态响应信号,以及时发现可能引起可靠性及安全性隐患的钢轨表面短波不平顺和轨道中长波不平顺。

#### 1.2.2 短波轨道病害智能识别需求

在较高的运营速度下,轨道短波病害易通过轮对在轴箱上产生较大的振动响应,增加轨道-车辆系统结构损伤的概率,因此,轨道短波病害越来越受到人们的重视。轨道短波病害通常指波长1 m及以下的轨道短波不平顺,其幅值多在0.02~2 mm之间。其表

现形式主要为钢轨表面波磨、焊接接头凸凹不平、道岔状态不良等。轨道几何检测系统的检测波长通常在3~120 m之间,难以对上述轨道短波病害进行有效检测,需研究其它的诊断和动态评判手段。轨道短波病害产生的振动通过轮对直接传递到轴箱上,因此,轴箱的振动加速度可直接反映轨道短波不平顺状态。利用轴箱加速度诊断轨道短波病害是目前的科研热点,采用轴箱加速度诊断轨道短波病害可在轨道短波病害早期即进行诊断,能更直接反应轨道车辆系统的高频振动,且轴箱加速度检测设备易于安装维护,经济实用,可安装在普通的运行车辆上。

#### 1.2.3 中长波轨道病害智能识别需求

极端条件下,铁路路基沉降不均匀、路桥过渡段轨下基础差异等中长波轨道几何不平顺在车体、构架加速度上可产生明显响应,易导致车辆运行不稳,降低乘客乘坐舒适性。目前的轨道几何检测系统仅能对轨道长波不平顺做出诊断,对于路基沉降不均、路桥过渡段等存在的病害没有系统性的评价,因此有必要利用车体加速度进行深入挖掘,对路基沉降不均、路桥过渡段等存在的问题进行检测,进而对传统轨道几何检测系统进行补充。

### 1.3 接触网状态检测需求

#### 1.3.1 几何参数及外观状态

接触网几何参数是接触网在空间中位置关系的基本状态参数,参数稳定可靠是保障接触网与受电弓安全、平顺、高质量滑动接触的基本技术要求。接触网几何参数静态值是接触网在无外部扰动条件下静止状态相对于轨道参考坐标系的数值,主要用于施工验收和现场维修作业;接触网几何参数动态值是接触网在受电弓滑动接触作用下振动状态相对于受电弓参考坐标系的数值,主要用于评价接触网的动态服役性能。

接触网是由多种零部件采用螺栓紧固、压接等方式组成的一种机械结构。受弓网振动、风负荷和温度变化等因素影响,接触网零部件易发生松脱、卡滞、断裂等问题,影响供电系统稳定性。

#### 1.3.2 弓网相互作用参数

受电弓与接触网动态运行关系是接触网运用状态的重要表现。国内外通常采用弓网接触力、燃弧等参数评价弓网受流性能,在综合检测车、搭载式检测设备中应用广泛。

#### 1.3.3 主导电回路及绝缘状态

主导电回路自牵引变电所引入接触网系统,在接触网系统内由承力索、接触网、电联接线、吊弦等诸多

环节构成静态电接触导电回路,经受电弓与接触网动态电接触环节将电能输送到车内动力环节。接触网悬挂结构复杂,器件种类繁多、形式多样,使得主导电回路电接触状态十分复杂。高速铁路牵引电流具有富谐波、多变化的特点,对于电接触环节的不良作用点影响巨大,长时间作用会导致器件温度升高并丧失机械强度,严重时造成承力索断股、接触网电腐蚀磨耗、联接点断裂、线夹脱落等,造成牵引供电故障或弓网事故。

绝缘配合及其状态监测是电气工程领域的研究焦点。绝缘子是电气化铁路牵引供电系统和接触网系统的重要组成部分,绝缘子承受着工作电压和各种过电压,并承担接触悬挂和支持结构的重量及气候影响产生的机械负荷。在极端条件下,铁路外部供电能力弱,主导电回路无备用,绝缘配合十分脆弱,因此需重点进行检测、监测。

#### 1.3.4 外部环境

接触网设备暴露在户外环境中,易受鸟害、危树、异物等周边环境的影响。根据电气化铁路多年的运营经验和故障统计,外部环境已成为影响铁路供电稳定性和可靠性的重要因素。在供电段日常工作中,处理鸟害、危树、异物等已成为常态化工作。因此需加强对外部环境的检测、监测。

#### 1.3.5 全线视频监控

接触网设备沿线路架设,零部件及电气绝缘环节众多,发生故障时难以准确定位,且故障分析多依靠跳闸固标、司机报告等,缺少必要的检测、监测数据信息。现有铁路综合视频设置间隔较大,相机技术参数无法满足对接触网状态的监测,因此需设计针对极端条件兼顾多专业需求的全线视频监控系统。

### 1.4 通信检测需求

#### 1.4.1 铁路专用移动通信网络

目前,我国新建铁路移动通信主要采用 GSM-R 系统,其承载了调度语音通信、列控信息、机车同步操控信息、调度命令、无线车次号、车载设备监测信息传送等业务。GSM-R 为第二代窄带移动通信系统,承载数据业务时的吞吐量和数据链路数均非常有限,且不具备承载视频业务的能力,已不能满足智能铁路发展的需求。

第五代移动通信技术(简称 5G 或 5G 技术)是最新一代蜂窝移动通信技术。近年来,在国际标准化组织及各国政府与运营商的努力下,5G 标准化进程不断加速,中美日韩及欧洲一些国家 5G 频谱规划相继出台,全球大多数主流运营商已经开始部署 5G 网络。

在铁路行业,5G-R 也已确定为新一代无线通信的发展方向,可将 5G-R 技术作为铁路下一代无线移动通信系统技术制式,应用于铁路正线连续广覆的场景,毫米波技术可应用于站场、枢纽和其他局部地区。

#### 1.4.2 多制式综合承载传输平台

极端自然条件下,各类业务对无线通信传输带宽、实时性、安全性、可靠性等存在多维度、差异化的需求,采用单一运营商网络进行通信,无法充分利用铁路周边的多种网络资源,难以提供高带宽、高可靠性的通信保障。因此应采用支持多种不同制式的综合承载传输平台,对下允许接入多种不同制式、不同运营商的网络;对上感知用户需求与网络状态,通过服务与网络适配,为用户选择最适宜的网络,为用户提供透明的车地传输通道。铁路综合承载传输平台示意如图 1 所示。

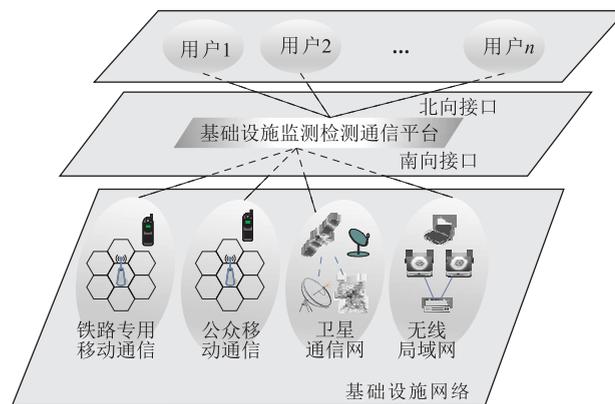


图1 极端条件下铁路综合承载传输平台示意图

### 1.5 信号检测需求

极端条件下,线路沿线地质灾害频发,气候恶劣,公路交通极不发达,运营人员驻守困难,维护人员到达艰难。信号系统选用应具备高可靠、集中操控功能,应能与其他专业的相关系统充分交换信息,智能化指挥、控制列车运行,满足动车组(包括动力集中动车组)和内燃、电力等机车运行控制需求。轨旁信号设备应由区间设备和车站设备构成:(1)区间根据线路接收卫星信号状况配置少量无源应答器,用于列车定位、等级转换等;(2)车站根据站场规模、作业类型等,配置集中联锁设备或远程控制设备。

基于以上考虑,极端条件下,铁路信号设备检测需求主要包括轨旁应答器动态检测和列控车载设备监测。

### 1.6 综合巡检需求

极端环境下,高海拔、太阳辐射强、气温低、缺氧、冻土、大风沙等或将给铁路综合巡检带来很多问题。

(1)高原地区太阳辐射强影响相机感光器件,气温低、海拔高影响光照强度,进而影响图像清晰度。因此,图像采集存在光照不均匀、背景多变且复杂、存在噪声等问题,需研究专门的图像检测算法。

(2)沿线低气温及特殊的地质条件使得铁路路基病害更为复杂,对路基病害的检测是铁路综合巡检的重要问题。

(3)铁路隧道占比大,检测需求更为突出。

(4)沿线存在低温特性的铁路,综合巡检设备需具备较好的耐寒性能。

## 2 极端条件下基础设施智能检测保障技术

### 2.1 极端条件下工务基础设施检测技术

#### 2.1.1 轨道几何

轨道几何检测系统一直是检查轨道病害、指导线路养护维修、保障行车安全的重要手段,检测项目包括基本轨道几何项目(轨距、左高低、右高低、左轨向、右轨向、水平、三角坑)和车体的响应。主要技术指标如表1所示。

表1 轨道检测系统主要技术指标表

检测项目	测量范围	检测精度
距离	0 ~ 9 999 km	$\pm 1‰$
轨距	1 415 ~ 1 480 mm	$\pm 1$ mm
曲线半径	150 ~ 6 000 m	$\pm 3\%$
水平及超高	$\pm 200$ mm	$\pm 1.5$ mm
高低	$\pm 60$ mm	$\pm 1.5$ mm
轨向	$\pm 100$ mm	$\pm 1.5$ mm
三角坑	$\pm 100$ mm	$\pm 1.5$ mm
车体振动加速度	$\pm 1$ g	$\pm 0.01$ g

极端条件下,铁路轨道检测设备研制的基本技术方案为:在运营车或检测车车体设备仓安装检测梁,以检测梁作为惯性基准,将惯性传感器集成,采用嵌入式微处理板卡实时同步采集多路传感器数据,通过实时数字网络进行信号传输。系统可在不同运行速度和不同运行方向条件下检测,能选择不同截止波长的空间曲线输出轨道不平顺,系统架构如图2所示。

为提高系统稳定性,减少设备数量和占用体积,轨道检测系统需采用新的系统结构,将所有测量用的传感器都安装在车体下方,由检测梁、激光摄像组件、集成式惯性组件、嵌入式数据处理计算机和嵌入式图像处理计算机组成。这种结构在保证检测精度的情况下,极大地简化了系统,同时能满足恶劣环境条件下的安装需求,使检测系统稳定运行,降低系统故障率。

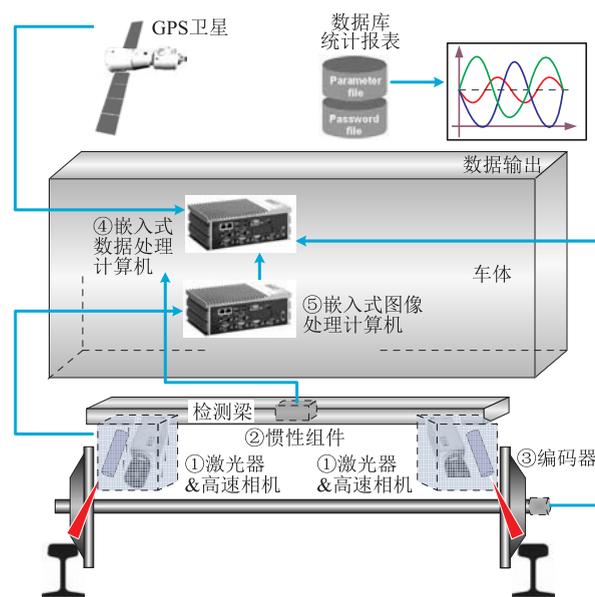


图2 搭载式轨道检测系统架构图

#### 2.1.2 车辆动态响应

轨道状态通过轮对传递到车辆上,不同频段的轨道状态可在轴箱、构架、车体上分别产生不同的响应。通过不同频段的车辆动态响应可识别不同波长的轨道不平顺病害。

##### (1)短波轨道病害智能识别

采用轴箱加速度在轨道短波病害早期即对病害进行诊断,更直接地反应轨道车辆系统高频振动。

##### (2)中长波轨道病害智能识别

大多数构架报警处的轨道几何均未超出维修限值,报警的主要原因是轮轨型面匹配不合理,结合构架加速度对车辆异常振动现象进行评判对保障铁路行车安全意义重大。同时可利用车体加速度进行深入挖掘,对路基沉降不均、路桥过渡段存在的问题进行检测。

##### (3)道岔状态智能评价

极端条件下,人员驻守困难,道岔养护维修成本高,人工静态检测困难,需研究基于多源检测数据的道岔状态综合评价方法。

#### 2.1.3 桥梁

##### (1)桥梁检查智能化支撑装备

结合常规跨度桥梁结构及服役特点,对检查关键支撑设备进行专项研究,建立桥梁全方位检查设备及技术保障体系。将无人机、攀爬或导轨式机器人、索缆构件巡查机器人<sup>[4-11]</sup>等技术应用于极端条件下铁路桥梁检查中,提出技术条件,指导关键技术研发及运

用。铁路桥梁检查智能化支撑装备布局如图3所示。

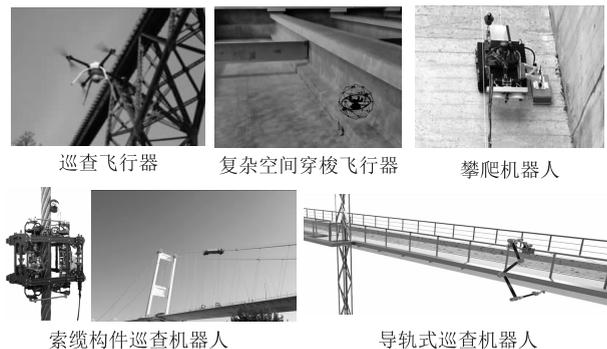


图3 极端条件下铁路常规桥梁检查智能化支撑装备布局图

### (2) 桥梁精准养修智能化平台

基于桥梁状态劣化评定标准,建立桥梁精准检测信息模型,充分发挥各先进检查设备效能,融合深度学习等人工智能先进技术,以桥梁检查为先导,以精准状态评定为基础,面向极端条件下铁路桥梁构建完整的检养修技术体系。

#### 2.1.4 隧道

极端条件下,铁路隧道设施智能保障系统设计由快速检测、数据管理、理论分析和评价阶段4个阶段组成,如图4所示。

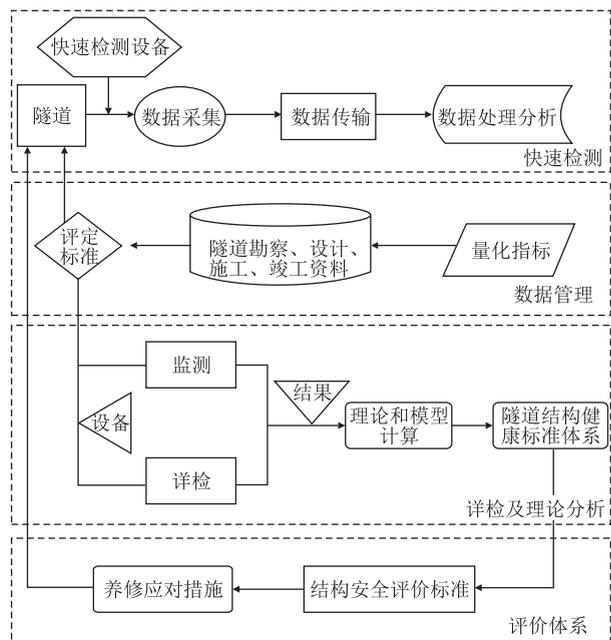


图4 极端条件下铁路隧道设施智能检测保障系统图

#### (1) 快速检测阶段

运用快速检测设备对极端条件下铁路隧道进行周期性检测,对采集到的数据进行传输和数据分析处理。

#### (2) 数据管理阶段

对极端条件下铁路沿线各隧道数据进行管理,包含隧道勘察、设计、施工、竣工资料和隧道检测资料等,并研究隧道病害或缺陷量化评定指标。依据隧道地质水文状况和检测结果评定指标,对隧道状态进行评定,评定结果正常则进入下一个检测周期,若评定结果为病害对隧道稳定具有一定的危害性,则进入理论分析阶段。

#### (3) 理论分析阶段

若快速检测结果发现存在危害隧道稳定性的缺陷或病害,则必须对隧道缺陷或病害进行监测,并对隧道水文、地质围岩状况、支护结构稳定性、混凝土强度等进行详细检测。结合检测结果与理论计算,建立隧道模型进行有限元计算,依据计算和试验结果,建立隧道健康状态标准体系,对隧道状态进行评价。

#### (4) 评价阶段

综合以上阶段数据,建立隧道结构安全评价标准,对隧道安全进行评价,并提出养护维修策略,保障隧道后续健康。

#### 2.1.5 钢轨探伤

极端地理、气候条件下,铁路长大坡道多、沿线温差大,钢轨伤损的类型、数量、伤损发展规律、伤损破坏严重程度均较既有钢轨有所不同。钢轨表面擦伤、表面裂纹、轨头磨耗等类型的伤损比例会显著提高;较小的钢轨内部或轨底伤损就可能导致断轨;受环境限制,采用钢轨探伤仪进行钢轨检测或伤损复核存在困难。因此,极端条件下的钢轨探伤需具备精准、可靠、无人操作、设备易于维护、钢轨状态评价等能力<sup>[12-17]</sup>。基于上述因素,极端条件下的铁路钢轨探伤应从如下角度展开:

#### (1) 以大型钢轨探伤车为主进行检测

大型钢轨探伤车检测速度快,检测效率高,人员工作环境较好,可在风、雨、雪、夜间等自然条件下作业。因此,极端条件下的铁路钢轨伤损检测需以钢轨探伤车检测为主,少用或不用钢轨探伤仪。

#### (2) 确保检测伤损定位准确

长大区间伤损定位误差较大时,需采用多种方式提高伤损定位精度,将伤损定位在亚米级。

#### (3) 钢轨检测数据时空融合分析

将钢轨探伤车采集到的钢轨伤损数据在空间上、时间上进行融合分析,通过历史周期自动对比,及时监测钢轨伤损的发展变化情况,结合钢轨使用条件,对钢轨伤损的发展进行预测。

### 2.1.6 综合巡检

铁路综合巡检应大量采用高科技手段,集成摄像采集、激光扫描、计算机图像处理、智能化分析判断等先进技术<sup>[18-20]</sup>,主要用于轨道检测、接触网检测、轨旁设备检测、限界检测等,发现风险隐患,并有针对性地进行处理。

#### (1) 高原铁路图像检测技术

针对背景复杂的轨道状态图像,应加大基于深度学习的图像检测算法研究,提高检测准确度。

#### (2) 铁路高精度点云智能处理技术

二维图像检测方法无法有效获取凹凸型缺陷的三维深度信息,应采取更加高效准确的三维扫描技术获取空间信息,其具有自动化程度高、作业时间短、受天气影响小、数据精度高等特点。

#### (3) 先进人工智能探地雷达技术

极端条件下,铁路路基病害问题较为严重<sup>[21]</sup>,研究和具有快速、高效、连续、高分辨的路基质量检测新技术迫在眉睫。基于人工智能技术,研究先进的人工智能探地雷达,提高探地雷达的分辨率、精确度、探测效率、数据解析效率。

## 2.2 极端条件下铁路接触网检测技术

### 2.2.1 动态检测

动态检测主要是以专业检测车和运营列车为平台,实现接触网状态的快速高效检测,解决接触网几何参数测量、外观状态巡检、弓网相互作用参数评价、主导电回路及绝缘状态检测等<sup>[22]</sup>。

#### (1) 高速动态检测技术

高速综合检测列车以动车组或运营列车为平台,实现基础设施状态等速检测,日常运营检测每10~15 d/次,检测参数包括接触线高度、拉出值、硬点、弓网接触力、燃弧、接触线间水平距离、接触线间垂直距离、接触网电压、动车组网侧电流、定位器坡度、定位点(支柱)、跨距等。

#### (2) 参数外观巡检技术

综合巡检车采用自走形轨道车平台,综合多专业检测功能,其接触网部分具有对接触网几何参数、接触网悬挂状态、环境视频等项目进行综合巡检的功能。

#### (3) 基于运营列车的搭载式检测技术

在运营列车、动车组等载体上安装搭载式安全监测装置,用于对供电接触网运用状态的实时监测,要满足每条线3次/d以上的检测要求。车载接触网运行状态检测装置(3C)主要对接触网及受电弓状态进行实时动态检测,监测预警异常状态,用于接触网实时动

态检测和巡视检查。3C装置能反映实时弓网关系,在指导安全生产中发挥了重要作用。接触网安全巡检装置(2C)利用摄像技术获取接触网设施及相关周边环境的视频信息,用于巡视检查接触网的技术状态和外部环境,指导接触网的运行维修。

### 2.2.2 地面监测

在电气化铁路的局界、段界、联络线、动车组(电力机车)出入库区、车站等处安装受电弓滑板状态检测装置,用于监测受电弓滑板的技术状态,及时发现受电弓滑板的异常状态,指导接触网的运行维修。

在接触网的特定位置设置固定式监测装置,监测接触网振动特性、线索温度、补偿位移、绝缘状态等参数或特定位置的接触网技术状态,并将监测数据通过有线或无线方式进行实时传输,发现异常及时报警。

## 2.3 极端条件下铁路通信信号基础设施检测技术

### 2.3.1 通信

综合极端条件下铁路专用移动通信网络和多制式传输平台的需要,通信智能检测应实现对多制式无线网络的场强覆盖、服务质量及电磁环境检测,主要技术方向包括:

#### (1) 基于IP化的新一代铁路宽带移动通信系统5G-R智能检测技术

通过对铁路新一代无线通信系统5G-R的系统需求、技术方案及业务承载的研究,提出5G-R网络的无线场强覆盖、分组域的服务质量、铁路沿线5G-R的电磁环境和应用业务等检测参数和检测方法,建立5G-R网络的检测规范和验收标准。

#### (2) 铁路沿线公网覆盖智能检测技术

从满足用户通话及数据传输需求的角度,研究极端条件下公网运营商网络在铁路沿线的无线场强覆盖、上下行数据传输速率及吞吐量业务等检测技术和检测标准。

#### (3) 卫星通信网智能检测技术

卫星通信为极端条件下铁路的后备通信模式,需定期对其网络状态进行动态检测。同时,极端条件下,铁路可能采用完全基于无线的移动闭塞列车控制系统,以北斗定位作为列车定位基准,铁路沿线需要布设卫星差分基站,用于提供一定范围内的卫星差分数据,以提高车载设备卫星定位的精度,该卫星信号质量也需进行动态检测。因此需开展卫星通信网络的智能检测技术研究。

#### (4) 多制式无线网络电磁环境智能检测技术

为提高铁路无线通信的可靠性,极端条件下将采

用多制式、多运营商的无线通信网络为铁路数据传输提供承载。不同制式和不同运营商使用的无线电频率不同,不同频率的无线电传播性能差异大,加之极端条件下可能存在的大量隧道使得无线电传输环境复杂,必然会造成不同信号间的干扰影响。因此,需研究多制式无线网络电磁环境智能检测技术,在空间和时间上进行划分,优化铁路整体无线电环境。

#### (5) 隧道内通信设备巡检智能检测技术

目前,铁路隧道内的无线通信覆盖普遍采用直放站加漏缆的方式,需每隔 1.5 km 左右设置 1 个中继站,中间区域通过漏泄电缆进行连接。每月要对漏缆径路进行检查,每年对漏缆吊挂件、吊线、固定件进行检查。在极端条件下,该维护工作难度大。因此,需采用高速高清图像采集技术实现对隧道内通信设备外观状态的拍摄,采用图像自动识别方式发现设备外观破损、卡具脱落、接头脱落等故障。

### 2.3.2 信号

极端条件下,区间信号系统设备故障难以及时得到维修,因此,需考虑设备的高可靠性和冗余性。可靠性可通过采用特殊的材料和工艺来达到,冗余性可通过多种制式系统的共存和互为备份来实现。铁路信号检测技术应包括地面应答器检测、车载无线通信接口监测和车载 ATP/ATO 运行数据监测。极端条件下,铁路信号智能检测技术架构如图 5 所示。

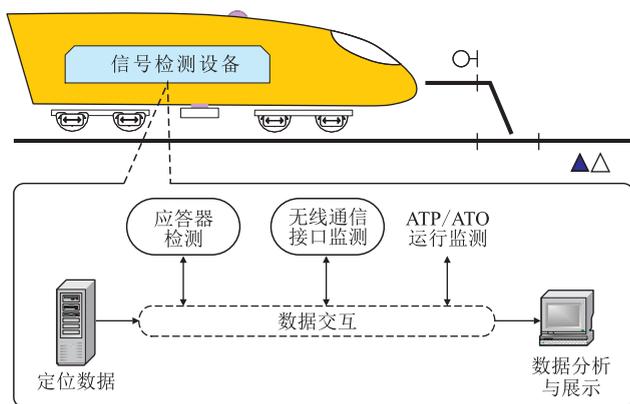


图5 极端条件下铁路信号智能检测技术架构图

#### (1) 地面应答器智能检测技术

应答器动态检测应实现对有源及无源应答器报文数据、电气接口参数和外观状态的检测。采用射频分析技术,实现对检测用 BTM 装置下行信号和应答器上行信号各参数的解析和记录,采用高速图像采集及机器学习方法,实现对应答器外观破损、螺栓松动等问题的智能识别。通过大量动态数据的趋势分析,提前发

现状态不良的应答器,实现对应答器设备的寿命预测。

#### (2) 车载无线通信接口智能监测

车载无线通信接口监测系统采用无线空口采集技术,监测车载电台与无线网络间的空中接口,获取无线通信终端与无线网络交互的业务数据,通过对比分析,定位通信超时故障,监测车载无线通信终端工作情况,监测分析其收发数据是否正确,与无线网络的交互过程是否正确。

#### (3) 车载 ATP/ATO 运行监测

ATP/ATO 运行监测包括车载电台与车载 ATP/ATO 间的数据接口监测和 ATP/ATO 设备运行数据监测。实现对车载 ATP/ATO 与地面控车设备各层之间的消息交换及对车载列控设备记录单元数据的实时记录和分析,监测车载设备工作状态,验证车载设备接收地面线路数据的正确性。

## 3 结束语

铁路是国民经济发展的动脉,研究极端条件下铁路基础设施智能检测保障技术,对于促进地区的安全稳定 and 经济发展具有重要意义。铁路基础设施是车辆安全、平稳运行的基础,检测是掌握线路基础设施服役状态的重要手段。特殊的自然条件给线路后期的养护维修提出了较大的挑战,本文提出适用于极端条件下的铁路检测技术体系架构、研发适用于极端环境下的智能化、无人化、搭载式、便维修、适应和可靠性强的检测设备,对维持极端条件下铁路良好的运行条件具有关键性作用。

## 参考文献:

- [1] 郭长宝,张永双,蒋良文,等.川藏铁路沿线及邻区环境工程地质问题概论[J].现代地质,2017,31(5):877-889.  
GUO Changbao, ZHANG Yongshuang, JIANG Liangwen, et al. Discussion on the Environmental and Engineering Geological Problems along the Sichuan-Tibet Railway and Its Adjacent Area [J]. Geoscience, 2017, 31(5): 877-889.
- [2] 宋章,张广泽,蒋良文,等.川藏铁路主要地质灾害特征及地质选线探析[J].铁道标准设计,2016,60(1):14-19.  
SONG Zhang, ZHANG Guangze, JIANG Liangwen, et al. Analysis of the Characteristics of Major Geological Disasters and Geological Alignment of Sichuan-Tibet Railway [J]. Railway Standard Design, 2016, 60(1): 14-19.
- [3] 康熊,王卫东,刘金朝.基于RAMS的高速铁路轨道平顺状态综合评价体系研究[J].中国铁道科学,2013,34(2):13-17.  
KANG Xiong, WANG Weidong, LIU Jinzhao. Research on Comprehensive Evaluation System for Track Irregularity of High-speed Railway Based on RAMS [J]. China Railway Science, 2013, 34(2):

- 13-17.
- [4] LATTANZI D, MILLER G. Review of Robotic Infrastructure Inspection Systems [J]. *Journal of Infrastructure Systems*, 2017, 23(3): 04017004.
- [5] 刘海燕, 刘洋, 陈开利. 美国公路钢桥桥面板损伤研究[J]. *世界桥梁*, 2018, 46(3): 73-79.  
LIU Haiyan, LIU Yang, CHEN Kaili. Study on Deck Damage of Highway Steel Bridge in the USA [J]. *World Bridges*, 2018, 46(3): 73-79.
- [6] 陈小雨, 沈锐利, 张培炎, 等. 悬索桥主缆的内部检测[J]. *世界桥梁*, 2013, 41(1): 86-90.  
CHEN Xiaoyu, SHEN Ruili, ZHANG Peiyan, et al. Internal Inspection of Main Cable of Suspension Bridge [J]. *World Bridges*, 2013, 41(1): 86-90.
- [7] 石田辰英, 広瀬茂男. ワイヤ吊り下げ型橋梁点検ロボットシステムの開発[J]. *土木学会論文集 F4 (建設マネジメント)*, 2020, 76(1): 42-50.
- [8] SALAAN C J, TADAKUMA K, OKADA Y, et al. UAV with Two Passive Rotating Hemispherical Shells and Horizontal Rotor for Hammering Inspection of Infrastructure [C]//2017 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII). Taipei, 2017(11): 769-774.
- [9] Mizui M, Yamamoto I, Kimura S, et al. Research on Hammering Test System by Unmanned Aerial Vehicles for Infrastructure Surveillance [C]// International Symposium on Experimental Robotics. Springer, Cham, 2016.
- [10] 和田秀樹. ドローンを活用したインフラ点検ロボットの研究開発: 近接目視? 打音検査等を用いた飛行ロボットによる点検システムの研究開発 (特集 活用が進む検査現場のドローン) [J]. *検査技術*, 2017, 22(10): 48-53.
- [11] HADA Y, NAKAO M, YAMADA M, et al. Development of a Bridge Inspection Support System Using Two-Wheeled Multicopter and 3D Modeling Technology [J]. *Journal of Disaster Research*, 2017, 12(3): 593-606.
- [12] 徐其瑞, 刘峰. 钢轨探伤车技术发展与应用[J]. *中国铁路*, 2011(7): 38-41.  
XU Qirui, LIU Feng. Development and Application of Rail Flaw Detection Vehicle Technology [J]. *Chinese Railways*, 2011(7): 38-41.
- [13] 徐其瑞, 石永生, 许贵阳, 等. GTC-80型钢轨探伤车及其运用[J]. *中国铁路*, 2013(11): 55-58.  
XU Qirui, SHI Yongsheng, XU Guiyang, et al. GTC-80 rail Inspection Vehicle and Its Application [J]. *Chinese Railways*, 2013(11): 55-58.
- [14] 石永生, 张玉华, 李培, 等. 高速铁路钢轨探伤车动态灵敏度设置探讨[J]. *铁道建筑*, 2014, 54(9): 113-116.  
SHI Yongsheng, ZHANG Yuhua, LI Pei, et al. Exploring on Dynamic Sensitivity Setting for Rail Flaw Detection Vehicle Used on High Speed Railway [J]. *Railway Engineering*, 2014, 54(9): 113-116.
- [15] 刘均. 高速货车转向架结构设计及构架强度分析[D]. 重庆: 重庆大学, 2006.  
LIU Jun. The Structure Design and Strength Analysis of High-speed Wagon Bogie [D]. Chongqing: Chongqing University, 2006.
- [16] Samuel Tony Vipparthy, Ch. Madhu V N, G G Ramakrishna, et al. Inspection of Rails Using Interface of Ultrasonic Testing [J]. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 2015, 4(1): 176-184.
- [17] Robert Ronald Phillips. Ultrasonic Methods for Rail Inspection [D]. California: University of California, 2012.
- [18] 姚冬, 陈东生, 陶凯, 等. 高速铁路基础设施综合检测监测技术探讨[J]. *铁道标准设计*, 2020, 64(3): 42-48.  
YAO Dong, CHEN Dongsheng, TAO Kai, et al. Discussions on Comprehensive Inspection and Monitoring Technologies for Railway Infrastructures [J]. *Railway Standard Design*, 2020, 64(3): 42-48.
- [19] 龚增进, 余祖俊. 铁路综合检测列车采集分析系统总体设计方案[J]. *铁路计算机应用*, 2005, 14(12): 27-29.  
GONG Zengjin, YU Zujun. Overall Design of Comprehensive Monitoring Train's Sampling and Analyzing System [J]. *Railway Computer Application*, 2005, 14(12): 27-29.
- [20] 柴雪松, 朱锦堂, 马辉. 青藏铁路高原巡检车的研究[C]//青藏铁路运营及相关技术研讨会论文集. 格尔木, 2005: 126-133.  
CHAI Xuesong, ZHU Jintang, MA Hui. Research on Qinghai-Tibet Railway plateau inspection vehicle [C]// Proceedings of the Symposium on Operation Management and Related Technologies of Qinghai-Tibet Railway. Golmud, 2005: 126-133.
- [21] 穆文辉. 青藏铁路路基冻土病害的检测应用研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2016.  
MU Wenhui. The Research of Qinghai-Tibet Railway Subgrade Detection [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2016.
- [22] 李洪磊. 高原铁路接触网现场设备图像检测及预警系统研究[J]. *无线互联科技*, 2016(8): 33-36.  
LI Honglei. Study on Contact Detection and Warning System Network Equipment Image Plateau Railway [J]. *Wireless Internet Technology*, 2016(8): 33-36.