

团 体 标 准

T/CCTAS XX—20XX

公路基础设施物联感知数据分析系统基本 功能要求

Basic functional requirements for data analysis system of road
transportation infrastructure state perception

（本草案完成时间：X）

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

中国交通运输协会 发 布

目 次

1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总体架构	2
5 公路基础设施数据源	2
5.1 数据源分类	2
5.2 数据源内容	2
6 数据融合供给模块功能要求	3
6.1 数据抽取	3
6.2 数据清洗	4
6.2 数据降维	4
6.4 数据加载	4
7 数据分析支撑模块功能要求	4
7.1 查询	4
7.2 可视化	4
8 数据分析模块功能要求	5
8.1 桥梁数据分析模块功能要求	5
8.2 隧道数据分析模块功能要求	5
8.3 路面数据分析模块功能要求	5
8.4 路基数据分析模块功能要求	5
8.5 边坡数据分析模块功能要求	5
9 公路基础设施安全风险评价与预测功能要求	6
9.1 安全风险评价功能要求	6
9.2 安全风险预测功能要求	6
9.3 状态异常实时预警功能要求	6

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。

本文件由中国交通运输协会提出。

本文件由中国交通运输协会标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：武汉理工大学、中国交通信息科技集团有限公司、北京四维图新科技股份有限公司。

本文件主要起草人：吴超仲、黄亮、曹菁菁、张帆、李登峰、郭毅霖、李亮、李擎伟、周丙浩、胡健、任伟、代刚毅。

公路基础设施物联感知数据分析系统基本功能要求

1 范围

本文件规定了公路基础设施物联感知数据分析系统的总体架构与要求、公路基础设施数据源、数据融合供给模块、数据分析支撑模块、数据分析模块、公路基础设施安全风险评价与预测模块等内容。

本文件适用于公路基础设施物联感知数据分析系统的开发。

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 33745-2017 物联网 术语
GB/T 35295-2017 信息技术 大数据 术语
GB/T 37721-2019 信息技术 大数据分析系统功能要求
GB/T 38673-2020 信息技术 大数据系统基本要求
JT/T 1037-2022 公路桥梁结构监测技术规范
JT/T 1498-2024 公路工程施工安全监测与预警系统技术要求
JTG 3450-2019 公路路基路面现场测试规程
JTG 5210-2018 公路技术状况评定标准
JTG F80/1-2017 公路工程质量检验评定标准 第一册土建工程
JTG H20-2007 公路技术状况评定标准
T/CECS G:E41-04-2019 国家公路网重点桥梁和隧道监测评价规程
T/CI 178-2023 高大边坡稳定安全智能监测预警技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

公路基础设施 transportation infrastructure

交通基础设施是交通工程中提供服务的基础设施，包括路基、路面、桥梁、隧道和其他交通工程沿线设施等。

3.2

物联网 internet of things; IOT

通过感知设备，按照约定协议，连接物、人、系统和信息资源，实现对物理和虚拟世界的信息进行处理并作出反应的智能服务系统。

注：物即物理实体。

[GB/T 33745-2017, 定义2.1.1]

3.3

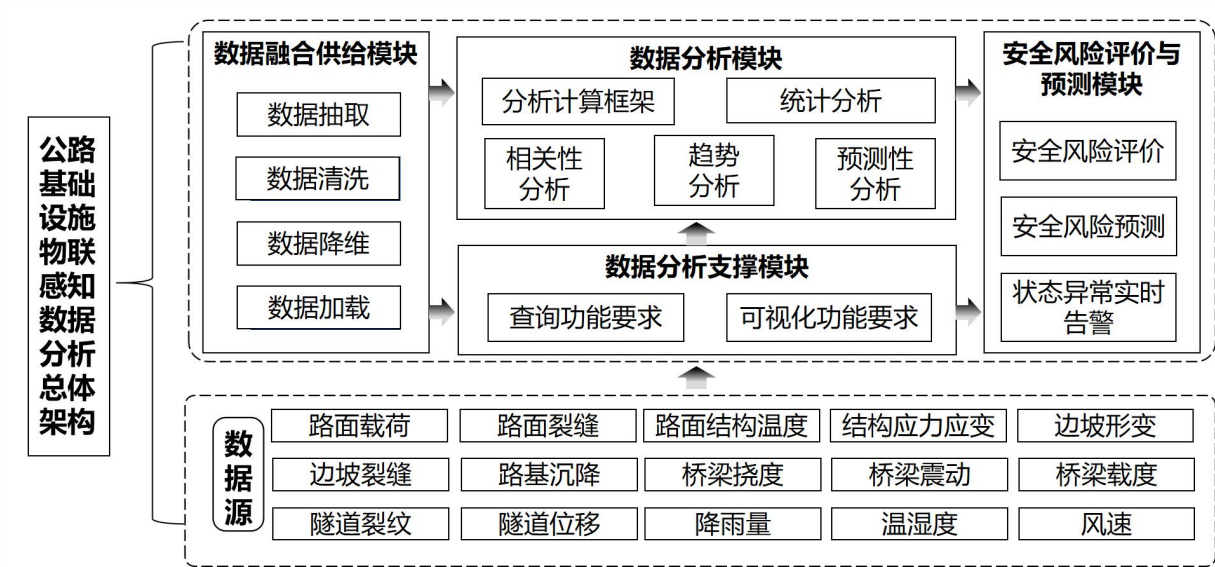
大数据系统 big data system

实现大数据参考体系结构的全部或部分功能的系统。

[GB/T 35295-2017, 定义2.1.14]

4 总体架构

4.1 公路基础设施物联感知数据分析系统包括数据源和数据融合供给模块、分析支撑模块、数据分析模块、公路基础设施安全风险评价与预测模块，总体架构如图1：



4.2 数据源包括桥梁、隧道、路面、路基、边坡中表征结构响应、结构变化、作用和环境的数据。

4.3 各模块具体内容如下：

- a) 数据融合供给模块包括数据抽取、数据清洗、数据降维、数据加载等功能，将数据源中获取的数据进行融合，用于后续的数据分析处理。
- b) 数据支持模块包括数据的查询和数据可视化。
- c) 数据分析模块包括五类公路基础设施所采集数据的分析计算框架、统计分析、相关性分析和趋势分析。
- d) 公路基础设施安全风险评价与预测模块包括安全风险评价、安全风险预测及状态异常实时告警。

5 公路基础设施数据源

5.1 数据源分类

5.1.1 公路基础设施数据源作用对象应包括桥梁、隧道、路面、路基和边坡等。

5.1.2 公路基础设施数据源内容宜分为结构响应数据、结构变化数据、作用数据和环境数据：

- a) 结构响应数据是由作用引起的公路基础设施构件、部件、结构的静力或动力响应的数据；
- b) 结构变化数据是以公路基础设施结构建成状态或某一规定时刻状态为基准，公路基础设施构件、部件、结构在使用中几何形态和表观、结构性能发生的相对变化；
- c) 作用数据是公路基础设施所受的直接荷载或间接荷载；
- d) 环境数据是影响公路基础设施安全和功能的自然环境因素。

5.2 数据源内容

5.2.1 支持桥梁数据源包括但不限于如下内容：

- a) 桥梁结构响应数据、结构变化数据、作用数据和环境数据宜符合JT/T 1037-2022中第6章的相关规定；
- b) 支持通过传感器采集点位数据用于BIM二次开发的正向设计；
- c) 支持通过无人机、监测机器人、三维扫描仪等获得桥梁的实时视频或点云数据用于开展逆向建模。

5.2.2 支持隧道数据源应包括但不限于如下内容：

- a) 隧道结构响应和结构变化数据宜符合T/CECS G:E41-04-2019中表D1的相关规定；
- b) 隧道作用数据应包括火风压、非火灾风压、剪力、弯矩等内容；
- c) 隧道环境数据应包括温度、湿度、风速、风向、烟雾度、能见度、混凝土碳化程度等内容。

5.2.3 支持路面数据源应包括但不限于如下内容：

- a) 路面结构响应数据应包括应力、应变、位移、线偏振度、纵向和横向裂缝等内容；
- b) 路面结构变化数据应包括路面表面纹理、路面抗滑、弯沉、车辙、翻浆、坑槽和拥包等内容。其中，路面表面纹理宜分为宏观纹理(水平波长为0.5-50 mm，幅度为0.1-20 mm)和微观纹理(水平波长小于0.5 mm，幅度为1-500 μm)；
- c) 路面作用数据应包括土压力、孔隙水压力、路面积水压力、冻胀水压力、水侵蚀压力、车辆荷载等内容；
- d) 路面环境数据应包括温度、湿度、路表气象信息(水膜厚度、结冰厚度、积雪厚度等)等内容。

5.2.4 支持路基数据源应包括但不限于如下内容：

- a) 路基结构响应数据和结构变化数据宜符合JTG F80/1-2017中第4章和JTG 3450-2019中第5-11章的相关规定；
- b) 路基结构变化数据还应包括土壤含水率，以测量地下水位以下土壤中的水压力对道路路基的稳定性影响；
- c) 路基作用数据应包括土压力、地基反力、地基承载力、土壤应力分布、土壤的压缩性、压实度等内容；
- d) 路基环境数据应包括地下水位、地基土的含水量、冻土深度、盐分含量、酸碱度等内容。

5.2.5 支持边坡数据源应包括但不限于如下内容：

- a) 边坡结构响应数据应包括应变、应力、边坡变形速度和方向等内容；
- b) 边坡结构变化数据包括边坡冲刷、边坡表面的形变和位移、倾斜量、位移量、地表沉陷量、边坡的3D或4D变形信息等内容；
- c) 边坡作用数据应包括降雨量、地下水位、地表水和地下水流动等水文数据，岩土类型、地质结构、风化程度等地质条件等内容；
- d) 边坡环境数据包括降雨量、地下水位、孔隙水压力等内容。

6 数据融合供给模块功能要求

6.1 数据抽取

数据抽取功能是公路基础设施物联感知数据分析系统的基础环节，需要根据应用需求，系统按照不同的方式抽取数据，该项功能相关要求包括：

- a) 支持按照分析需求将存放在数据存储系统中的必要数据进行抽取；
- b) 支持直接从接入字段中获取目的数据，如传感器采集的道路龟裂、裂缝面积等结构健康数据；
- c) 宜采用全量抽取的方式抽取公路道路基本信息、环境和地形信息、桥梁、隧道和路基等详细属性这类基础属性数据；
- d) 宜采用增量抽取的方式抽取路面摩擦系数数据、路面积水和结冰情况数据、桥梁和隧道的结构健康监测数据、环境监测数据(温度、湿度等)等这类动态感知数据；
- e) 其他数据抽取要求应参照GB/T 37721-2019。

6.2 数据清洗

数据清洗功能是指经过清洗、转换等操作，数据预处理部分可以解决数据可能存在的质量问题(如不一致、无效、缺失、重复等)，将数据加工为模型开发能够直接使用形式，并在此基础上开展后续环节，该项功能相关要求包括：

- a) 数据清洗相关要求参考GB/T 37721-2019；
- b) 提供删除变量、定值填充、统计填充、统计值填充和样条插值法等缺失值处理方法，对公路基础设施数据源存在的单点缺失现象进行数据清洗；
- c) 支持数据拼接、数据去噪、数据滤波等处理方法，清洗边坡点云数据并填充完整；
- d) 提供基于L1和L2范数的归一化方法，将表征公路基础设施特征缩放到单位范数；
- e) 提供Z-score和min-max标准化方法，将表征公路基础设施特征缩放到指定范围；
- f) 支持基于神经网络的异常值检测算法来处理桥梁、路基、路面的温度湿度等环境数据，桥梁主梁位移、梁端转角、主塔关键截面等结构响应数据，隧道衬砌裂缝、路面裂缝等结构变化数据中存在的异常值问题。

6.2 数据降维

数据降维功能是通过降维去除冗余信息，从而减少数据存储空间和计算机资源开销，提高数据的分析效率，并达到良好的可视化效果，该项功能相关要求包括：

- a) 支持主成分分析、线性判别分析、奇异值分解、自编码器方法，实现公路基础设施多维特征数据源的降维。
- b) 提供数据降维的参数调整优化方法，满足不同数据特征和维度的处理需求。

6.4 数据加载

数据加载功能是把经过清洗和转换之后的数据加载到公路基础设施物联感知数据分析系统，为分析功能模块提供数据，该项功能相关要求包括：

- a) 数据加载相关要求参考GB/T 37721-2019；
- b) 支持将行政区划、路面类型、路面结构、技术等级、车道特征、桥隧结构物等相同属性的公路数据进行统一管理；
- c) 支持将数据进行分类存储，建立各类数据库，包含基础信息数据库、病害信息数据库、计量信息数据库、BIM信息数据库、养护措施知识库

7 数据分析支撑模块功能要求

7.1 查询

7.1.1 查询功能要求应能满足公路交通基础设施分析系统不同要求下的信息查询需求，可以提供多种条件筛选查询结果的选项，具体包括如下方面：

- a) 查询接口要求参考GB/T 37721-2019；
- b) 支持多维度查询，能够支持对公路基础设施物联感知数据从环境、桥梁、隧道和路基等详细信息的基础属性数据以及结构健康监测数据，环境监测数据这类动态感知数据中多维度的灵活查询；
- c) 提供查询日志和监控功能，记录查询请求和执行状态，便于查询性能分析和监控。

7.1.2 查询内容允许用户查找各种类型的基础设施情况，帮助用户了解具体设施的维护情况和安全评估等相关数据，具体要求如下：

- a) 支持查询优化功能，该项功能要求参考 GB/T 37721-2019；
- b) 支持根据名称、编码对公路交通基础设施对象构件信息进行查询；
- c) 支持根据对象、时间对公路交通基础设施的历史状态信息、预测信息、异常信息进行查询；

7.2 可视化

可视化功能要求是对公路基础设施物联感知数据源、数据分析结果通过丰富可视化组件进行呈现，具备海量数据的加载和可视化功能，该功能相关要求如下：

- b) 支持采用点图对公路基础设施物联感知点位进行可视化，绿色或蓝色表示传感器正常状态，红色表示超过一级阈值，黄色表示超过三级阈值；
- c) 支持采用折线图对公路基础设施横向位移、纵向位移、应力、应变等实时感知数据进行可视化；
- d) 支持采用柱状图对预警次数进行可视化；
- e) 支持采用饼图对公路基础设施物联感知设备类型分布进行可视化；
- f) 支持采用列表对公路基础设施物联感知监测项目进行可视化；
- g) 支持采用分析报告对安全风险评价结果进行可视化。

8 数据分析模块功能要求

8.1 桥梁数据分析模块功能要求

- a) 支持桥梁视觉监测、振动监测、温度监测、结构变形监测方法，以获取多维度监测数据；
- b) 支持通过实测的梁端位移和温度，采用线性回归方法建立两者的相关性模型，计算伸缩装置的变形范围、累计行程并预测在极端温度条件下伸缩装置的可能变形量；
- c) 支持综合数据分析算法，结合历史和实时监测数据，对桥梁表面状态、结构状态、应力状态做实时更新；
- d) 支持建立温度与位移之间的线性关系，通过监测数据斜率的变化来预测桥梁伸缩缝性能退化。

8.2 隧道数据分析模块功能要求

- a) 支持多源数据融合，整合隧道结构变形数据、应力应变数据、振动数据、裂纹和损伤各类型数据，为提取和分析价值信息提供基础；
- b) 提供多项拟合方法建立隧道各数据源间关联关系模型；
- c) 支持利用隧道结构测量的频率参数、振型数据、曲率模态、曲率模态差和曲率模态熵预测结构发生损伤的位置；

8.3 路面数据分析模块功能要求

- a) 路面数据类别划分规则参考JTG H20-2007；
- b) 提供病害率、修补率、平整度、表观破损率等统计分析法、分析路面损坏、路面平整度、路面抗滑性能等维度数据；
- c) 支持采用图形分析法分析各维度数据间的相关关系，提供路面温度与气温变化规律的相关性分析；
- d) 支持利用神经网络模型进行养护措施与路面状况、结构材料等信息之间的趋势分析；
- e) 支持建立深度学习网络预测未来短时路面安全风险及异常状态。

8.4 路基数据分析模块功能要求

- a) 支持批处理计算框架、流处理计算框架、批流一体化计算框架等框架，处理路基沉降、温度、裂缝等多维数据；
- b) 提供图形分析法、线性回归法等方法，进行路基各维数据的统计分析；
- c) 支持建立环境温度、行车振动应力等与路基沉降变形规律的多元线性回归模型；
- d) 支持基于历史数据和模型预测分析，预测未来路基沉降量、损坏程度等趋势；

8.5 边坡数据分析模块功能要求

- a) 宜采用特征描述算法、关键点提取算法、配准算法，描述并优化边坡法线方向、曲率、纹理特征等边坡点云数据的特征；
- b) 支持建立土的黏聚力和内摩擦角与路基边坡的稳定性的线性回归模型；
- c) 支持采用神经网络模型，分析边坡崩塌、边坡滑坡等风险的发展趋势；
- d) 支持贝叶斯回归模型，预测不同条件下边坡稳定性的概率分布。

9 公路基础设施安全风险评价与预测功能要求

9.1 安全风险评价功能要求

公路基础设施安全风险评价功能是对公路基础设施的安全风险进行识别和评价的功能。

- 9.1.1 公路基础设施的安全风险识别的分类标准参考JTG 5210-2018。
- 9.1.2 支持桥梁风险评价功能，该项功能相关要求如下：
 - a) 宜使用拉绳式传感器测量伸缩缝位移的方法，评估大跨径桥梁伸缩缝性能；
 - b) 支持裂缝识别及动态扩展自动化实时监测方法，对桥梁裂缝进行风险评估。
- 9.1.3 支持隧道风险评价功能，该项功能相关要求如下：
 - a) 支持视觉目标检测算法，对隧道衬砌裂缝进行智能检测以评估隧道裂缝风险；
 - b) 宜使用分布式光纤技术，实现对隧道内差异沉降的监测，完成隧道变形的风险评价。
- 9.1.4 支持路面风险评价功能，该项功能相关要求如下：
 - a) 路面风险评价功能宜包括平整度评价、抗滑评价、裂缝评价、损坏评价、结构强度评价；
 - b) 宜使用比例风险模型，检测路面纵向裂缝、防滑度等使用性能；
 - c) 支持测量路面纵断面高程，建立路面平整度评估框架，评估路面平整度安全风险。
- 9.1.5 支持路基风险评价功能，该项功能相关要求参考JTG 3450-2019。
- 9.1.6 支持边坡风险评价功能，该项功能相关要求如下：
 - a) 支持使用数字模拟仿真技术，对边坡滑坡风险进行评估；
 - b) 宜使用知识图谱的方法，对高陡边坡崩塌风险模拟评估。

9.2 安全风险预测功能要求

公路基础设施安全风险预测是使用数据分析、模型算法和预测技术来估计未来在公路基础设施上可能发生的安全风险的过程。

- 9.2.1 支持桥梁安全风险预测功能，该项功能相关要求如下：
 - a) 宜使用机器学习方法，预测各种因素耦合状态下的桥梁极值应力；
 - b) 支持采用主成分分析和神经网络预测模型，预测桥梁爆炸载荷时程。
- 9.2.2 支持隧道安全风险预测功能，该项功能相关要求参考JT/T 1498-2024。
- 9.2.3 支持路面安全风险预测功能，该项功能相关要求如下：
 - a) 支持采用机器学习方法，对路面平整度进行安全风险预测；
 - b) 支持基于视觉的深度学习方法，对路面普通裂纹进行安全风险预测。
- 9.2.4 支持路基安全风险预测功能，宜使用模糊案例推理方法，建立路基的安全风险预测模型进行路基安全风险预测。
- 9.2.5 支持边坡安全风险预测功能，该项功能相关要求如下：
 - a) 支持以边坡表面滑移，内部滑移，锚索应力和结构物变形为评价标准的动态评价模型，实现对边坡风险安全的分析和预测。
 - b) 支持知识图谱引导的三维动态模拟安全风险预测模型，对边坡崩塌事故类型进行安全风险预测。

9.3 状态异常实时预警功能要求

- 9.3.1 支持桥梁状态异常实时预警，该项功能相关要求如下：
 - a) 宜使用桥梁健康监测BHM方法，监测桥梁关键部位结构响应数据和振动数据，进行桥梁状态异常实时预警；
 - b) 宜使用多速率融合方法，检测斜拉桥关键构件状态异常预警。
- 9.3.2 支持隧道异常状态实时预警，该项功能相关要求如下：
 - a) 支持数据可视化，实时监控隧道衬砌裂缝数据，实现异常状态实时预警；
 - b) 支持多源数据融合分析，判断隧道区域性地面沉降异常情况，实现异常状态实时预警。
- 9.3.3 支持路面异常状态实时预警，该项功能相关要求如下：

- a) 宜通过振动信号解析沥青路面坑槽、隆起和横缝加速度特征，以实现路面异常状态监测和及时预警；
 - b) 支持设置合理评价指标，检测寒区沥青路面脆弱性，实现路面异常状态实时预警；
- 9.3.4 支持路基异常状态实时预警，该项功能相关要求参考JT/T 1498-2024；
- 9.3.5 支持边坡异常状态实时预警，该项功能相关要求如下：
- a) 支持采用分布式光纤传感监测技术收集实时传感器数据，及时掌握边坡的安全稳定状态和异常信息，实现公路边坡滑坡、崩塌等异常状态的实时预警。
 - b) 高大边坡异常状态预警要求参考T/CI 178-2023。
-