

DATA-DRIVEN
INFRASTRUCTURE
DECISION-MAKING

从“高频”变“连续”，
从“连续”学“推演”
——道路基础设施管理数字化转型之路

同济大学 交通运输工程学院 杜豫川 教授

2023.06

杜豫川

Email: ycdu@tongji.edu.cn

手机: 138*****45

同济大学 交通运输工程学院 长聘教授/博导

同济大学 交通科学与技术研究院 院长

- 主要研究方向：智能基础设施、智能交通系统、智慧停车等
- 上海市优秀学术带头人、教育部“新世纪优秀人才”、交通运输部“重点领域创新团队”负责人、中国公路青年科技奖
- Journal of Advanced Transportation 副主编
- 中国公路学会交通工程与信息化分会常务理事、青年专家委员会委员、中国智能交通协会智慧公路专家委员会委员
- 负责多项国家科技支撑计划、863课题，深度参与世博会、虹桥枢纽、北京新机场等交通信息化科研项目
- 获国家科技进步二等奖1项，省部级一等奖9项、二等奖4项、三等奖3项。



目录

CONTENTS



01 行业背景

02 技术体系

03 关键技术

04 应用推广

01 从交通大国到交通强国

我国公路产业飞速发展取得巨大成就



高速公路总量

>160,000公里

世界第一

全国道路总量

5,198,000公里

世界第二

海量道路资产的管理养护成为巨大挑战



《交通强国建设纲要》

“强化交通基础设施养护
加强基础设施运行监测检测”

百万级公里路网性能监测

01 交通基础设施的数字化政策引领

□ 政策趋势：**道路数字化转型**是国家战略的核心任务之一



交通领域科技创新中长期发展规划纲要（2021—2035年）

- 科技创新体系仍有待完善，科技创新链条有待优化
- 推动交通运输发展由要素驱动向**创新驱动**转变



创新化驱动



十四五“新型基础设施”建设

- 全面提升城市基础设施**精准感知、精确分析、精细管理和精心服务**能力



智慧化转型



十四五规划纲要

- 加快交通基础设施**数字化**改造，加强泛在感知、终端联网、智能调度**体系建设**，构建新型基础设施**标准体系**



标准化改造



数字交通“十四五”发展规划

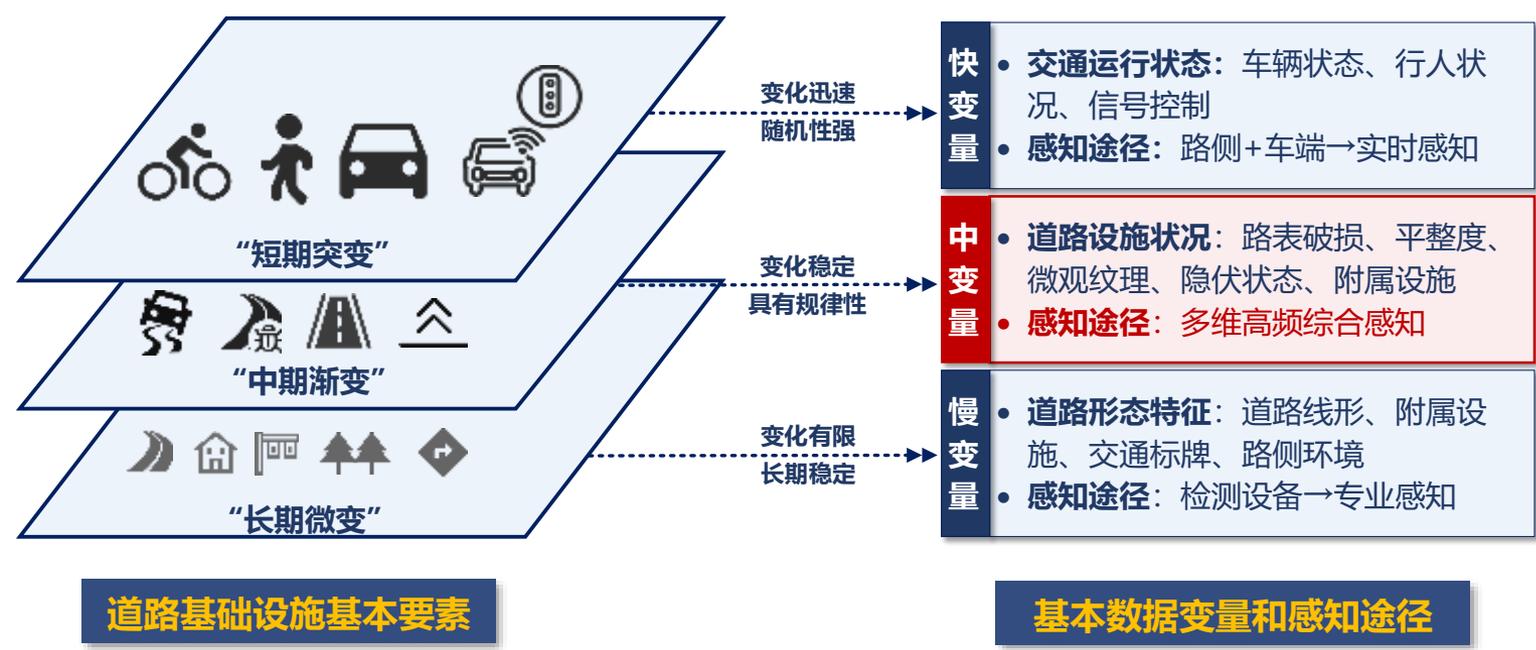
- 交通设施数字感知，信息网络广泛覆盖，运输服务便捷智能，行业治理在线协同，技术应用创新活跃，网络安全保障有力”的**数字交通体系**深入推进



数字化完善

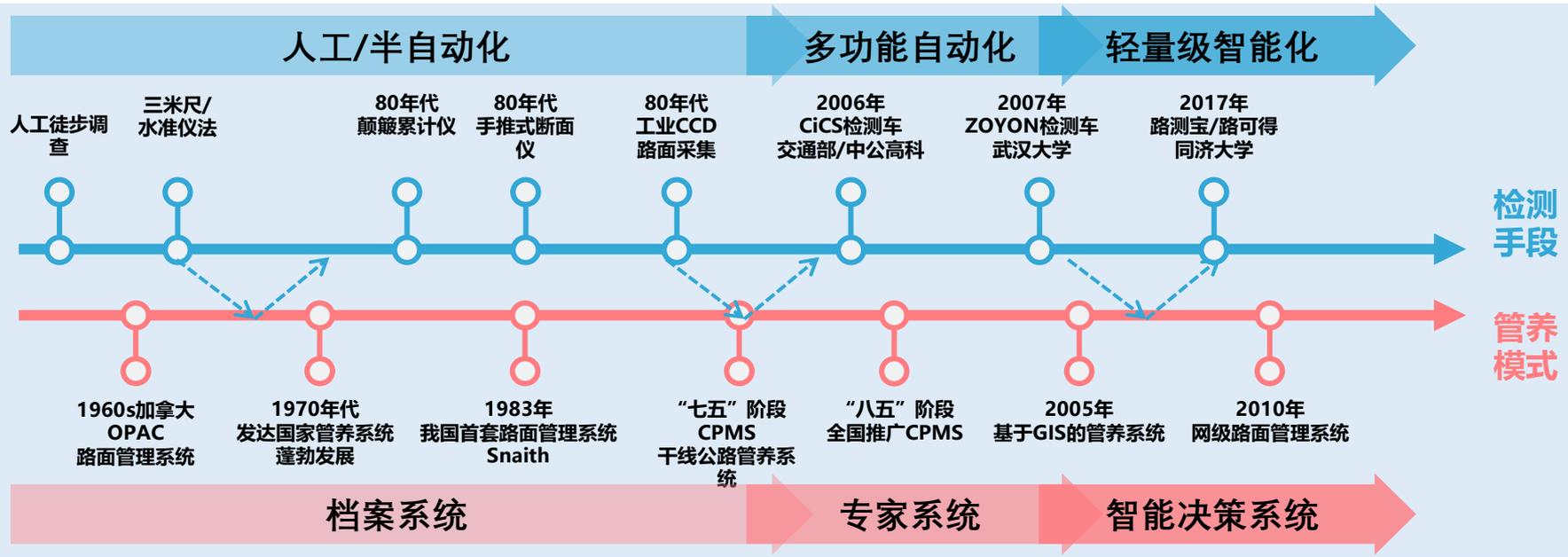
01 交通基础设施的数字化层级

- 数字道路基础设施的基本数据要素按时间更新频次分为：**快变量、中变量、慢变量**
- 道路基础设施状况具有典型的**“中期渐变”**特性，**多维高频综合感知**是其可靠感知途径。



01 从信息汇聚到数据驱动

- 自**1983年**在山东营口试用的我国第一套路面管理系统（Snaith）以来，道路基础设施的养护管理已逐步实现了由**人工化、半自动化、自动化、精细化**的巨大飞跃，正稳步推进**数字化、智能化**的进程。
- 从历史来看，基础设施性能采集方式的变革促进了管养模式的逐渐进步，管养系统的升级又催化了采集、分析手段的进步。在数字化浪潮下，新的管养模式变革将依赖**数据驱动**。

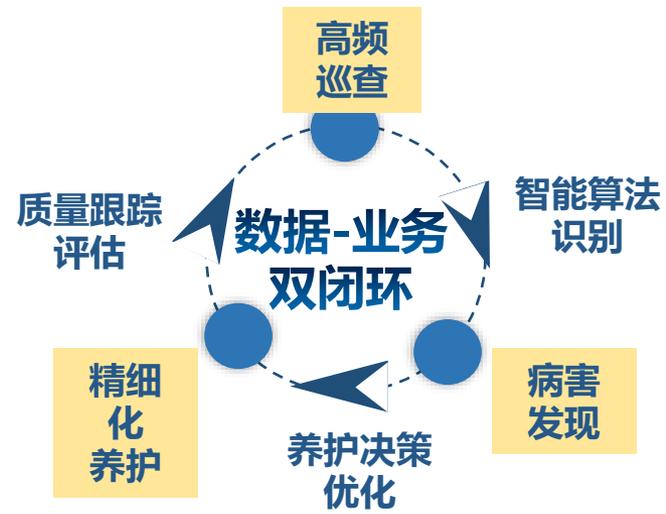


01 交通基础设施的数字化转型

数据应用集中于探索性数据科学 **可视化≠数字化** 数据闭环驱动业务闭环建设



- **管理部门:** 检测质量数据
- **养护部门:** 养护记录数据
- **运营部门:** 路况流量数据

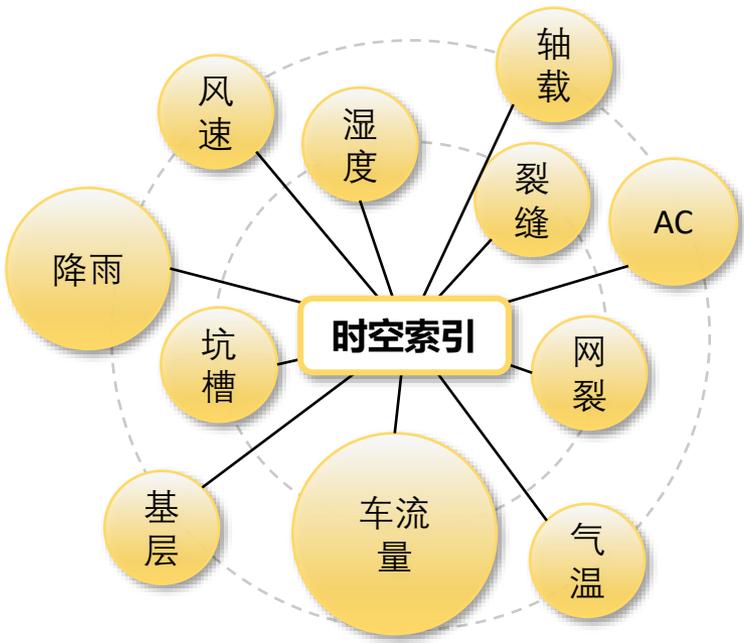


数据不连续，业务不闭环，决策不智能

数字化建设稳步推进，数据驱动却鲜有应用

01 数据驱动的基础设施智能管养模式

可追溯数据体系：从“高频”变“连续”



可计算数据驱动：从“连续”学“推演”



从探索性数据科学，迈向可计算数据科学

目录

CONTENTS



01 行业背景

02 技术体系

03 关键技术

04 应用推广

02 数据驱动的智能管养技术体系



02 数据驱动的智能管养技术体系

时空关联

丰富数据源维度



固定监测 **路表巡检** **路表抽检**

丰富数字化手段



高精度定检 **轻量化巡查** **众筹化遍历**



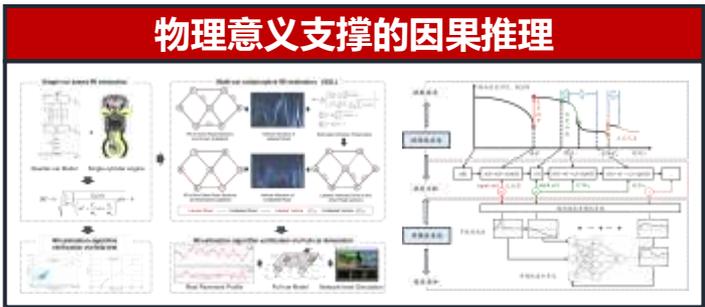
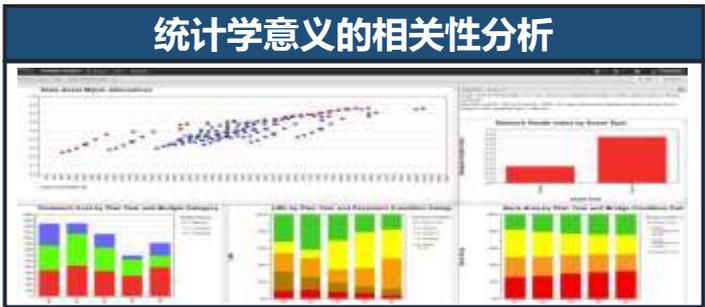
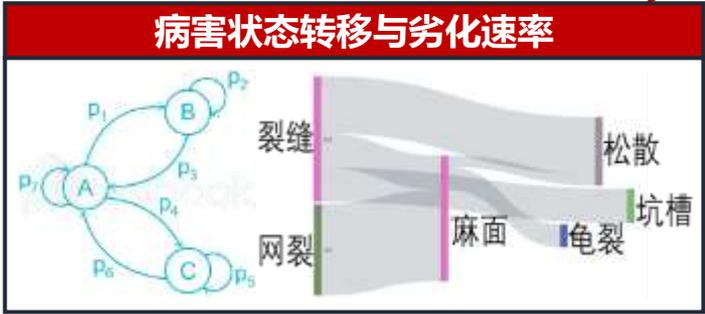
时空关联的多维高频数据体系，赋能数据可追溯、可计算

02 数据驱动的智能管养技术体系

多维高频的时空连续数据体系支撑

因果推理

以路段为对象的统计学指标			
公路养护技术规范	特优	优	良
	100~91	90~81	80~71
	不需	日常	小修
	中	差	很差
	70~51	50~31	≤30
	小/中修	中/大修	大/重修



以病害劣化链为表征，推动路段性能衰变的因果推理

02 数据驱动的智能管养技术体系

预判推演

多维高频数
+
因果推断模型

预判推演



时机决断: 时间上预判推演病害劣化, 及时养护干预



区段划分: 空间上预判推演聚集性, 划分养护区段



以**预判性**性能推演征, 推动**科学**养护调度

目录

CONTENTS



01 行业背景

02 技术体系

03 关键技术

04 应用推广

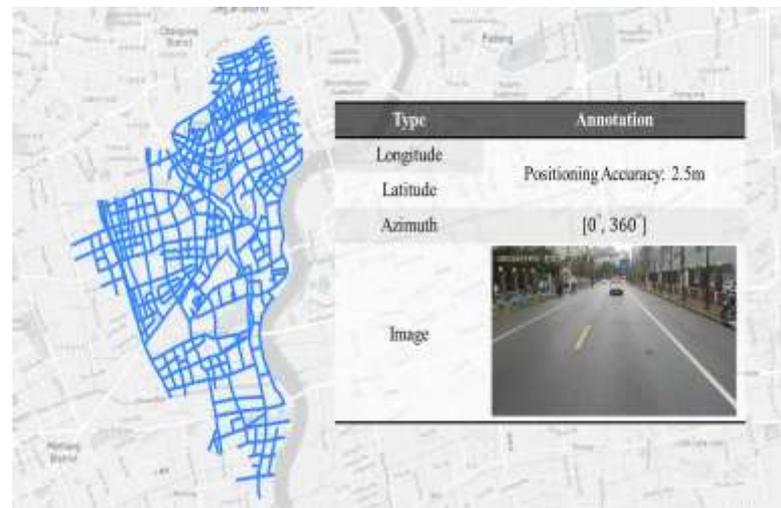
03 道路性能数据的时空匹配和演化跟踪

病害时光机：自然路面表观损伤发育连续追溯

“地理匹配-背景匹配-病害匹配” 三级**跟踪架构**

Site: 0001	Num: 01	2021-07-06	Num: 02	2021-07-08	Num: 03	2021-07-12	Num: 04	2021-07-13	Num: 05	2021-07-14	
	Temp: 25.6-35.7°C Hum: 73% Prec: 0.2 mm Patch-pothole: Main road		Temp: 24.6-34.2°C Hum: 58% Prec: 32.4 mm Patch-pothole: Main road		Temp: 28.6-37.5°C Hum: 72% Prec: 0 mm Patch-pothole: Main road		Temp: 29.2-34.8°C Hum: 70% Prec: 0 mm Patch-pothole: Main road		Temp: 28.3-36.3°C Hum: 72% Prec: 0 mm Patch-pothole: Main road		
	Site: 0001	Num: 06	2021-07-15	Num: 07	2021-07-16	Num: 08	2021-07-17	Num: 09	2021-07-19	Num: 10	2021-07-20
		Temp: 28-35°C Hum: 71% Prec: 0 mm Patch-pothole: Main road		Temp: 28.2-32.7°C Hum: 70% Prec: 0 mm Patch-pothole: Main road		Temp: 27.8-32.6°C Hum: 74% Prec: 0 mm Patch-pothole: Main road		Temp: 27.5-34.6°C Hum: 72% Prec: 0 mm Patch-pothole: Main road		Temp: 28.4-33.7°C Hum: 76% Prec: 0 mm Patch-pothole: Main road	
Site: 0001		Num: 11	2021-07-23	Num: 12	2021-07-29	Num: 13	2021-07-30	Num: 14	2021-08-02	Num: 15	2021-08-04
		Temp: 28.1-31.8°C Hum: 38% Prec: 0 mm Patch-pothole: Main road		Temp: 27.3-31.3°C Hum: 69% Prec: 1.1 mm Patch-pothole: Main road		Temp: 26.6-34.7°C Hum: 72% Prec: 0 mm Patch-pothole: Main road		Temp: 27.5-32.8°C Hum: 81% Prec: 0 mm Patch-pothole: Main road		Temp: 27.7-32.2°C Hum: 81% Prec: 0.5 mm Patch-pothole: Main road	

“城市道路基础设施大数据开放式平台” 列为
上海市科技成果转移转化服务体系建设项目



全球首个时空连续的设施病害数据集

03 道路性能数据的时空匹配和演化跟踪



病害时光机：自然路面表观损伤发育连续追溯

数据集获取：

数据类型

病害数据：

病害类型

病害位置

病害尺寸

地理信息：

采集GPS

采集方位角

道路等级

气象数据：

湿度

降雨

气温

风速

气压

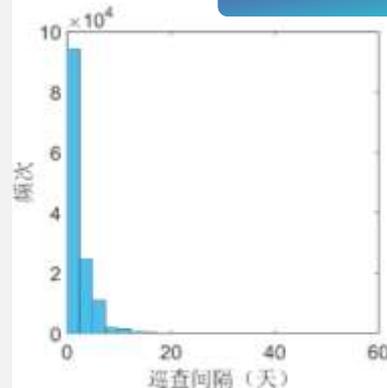
云量

数据范围

- 覆盖上海市城市道路、快速路、高速公路共计**900+路段**，**500+公里**
- 时间跨度：**2021.05-2022.05** (不断更新中)

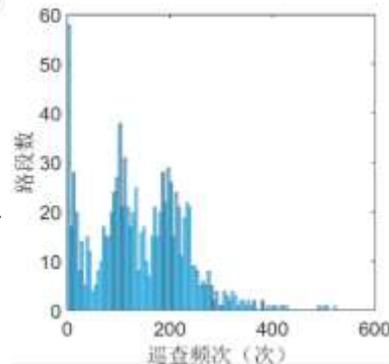


采集频率



90%的路段巡查最大更新周期为**5天**，平均更新周期为**2天**

有**80%**以上路段巡查次数在**60(1次/周)**以上，平均巡查次数为**142次**



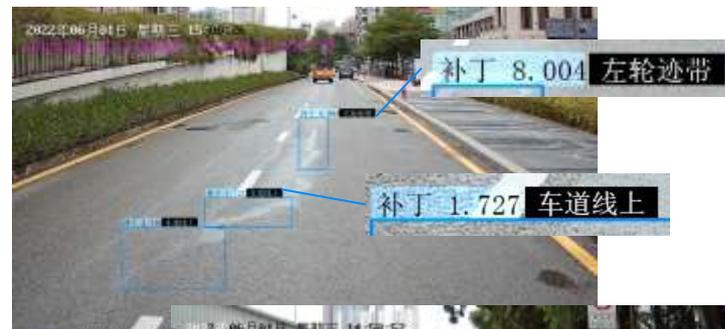
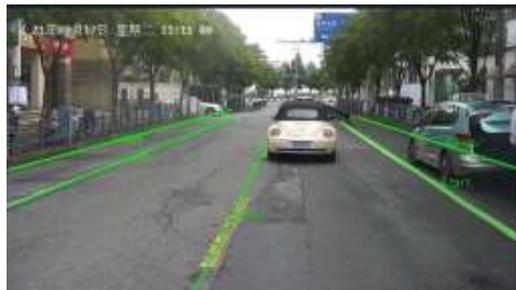
03 道路性能数据的时空匹配和演化跟踪

AI实现场景理解，赋值环境语义信息

语义分割



车道线检测



- 基于场景理解，赋予病害环境位置信息；
- 不同路面位置病害发生特征的跟踪追溯；

03 病害发育演化跟踪

□ 病害频发：路面坑槽形成时间 < 20天



□ 路面坑槽往复形成：30天内坑槽往复形成2次

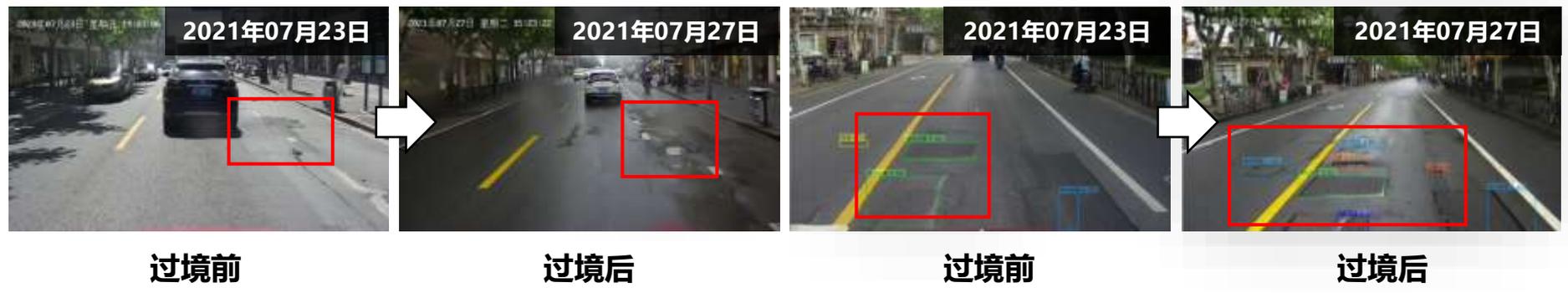


03 病害发育演化跟踪

伸缩缝病害快速发育：伸缩缝坑槽形成时间 < 10天

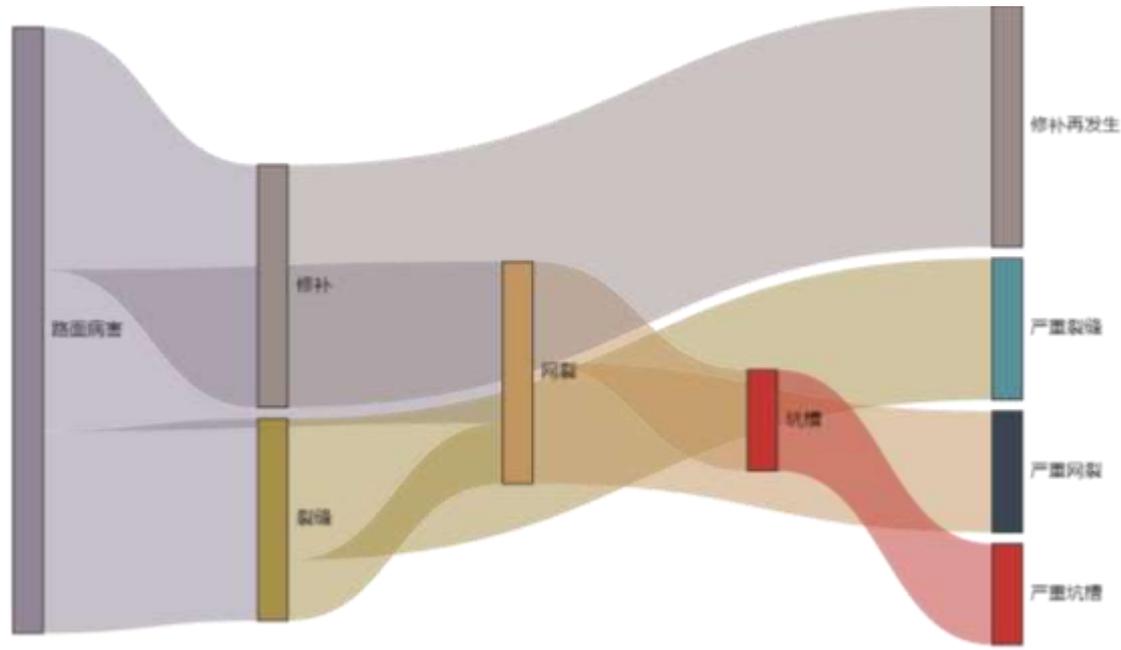


台风“烟花”过境影响，靶向修复

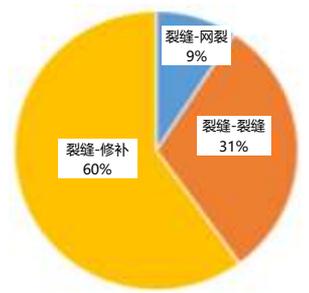


03 病害劣化规律分析

时间：基于高频跟踪数据的病害劣化分析



- 劣化多为修补病害再发生，其次是裂缝劣化；
- 裂缝劣化为更严重的裂缝、网裂，不会发展为坑槽；
- 坑槽多由网裂和修补病害劣化而来；



裂缝劣化趋势分布



坑槽劣化来源分布

*基于上海市某区域道路检测数据

03 病害时空聚集性分析

空间：道路质量状况空间分析

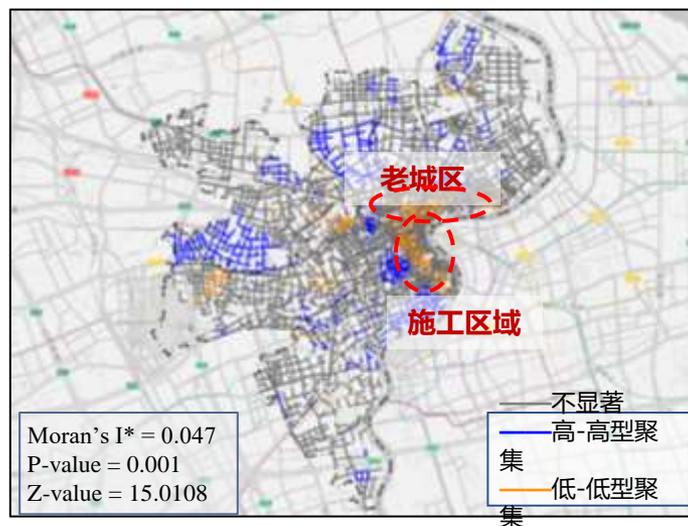
病害分布具有明显的时空聚集性

- **开发区、物流集散地**等大交通流区域易发生病害的**集中分布**；
- **老城区及施工区域**易发生路面质量**聚集性恶化**。

上海市城域道路质量状况分布



路段质量空间相关性分布

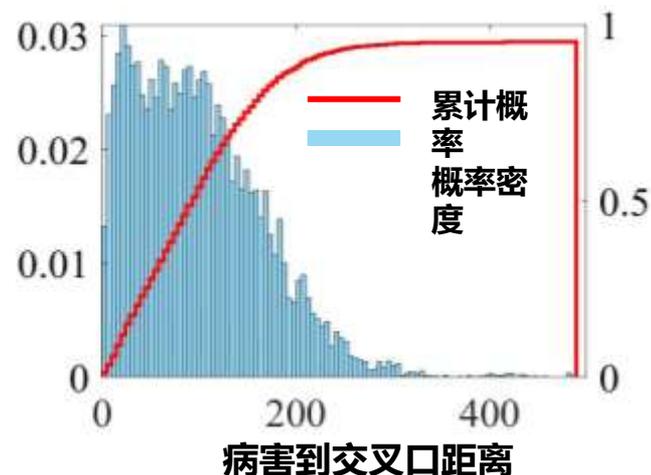


03 病害时空聚集性分析

空间：病害高发区域分析

病害分布具有明显的时空聚集性

- 交叉口区域路面受车辆启停和尾焰影响大，受**剪切**和**高温作用**显著，存在明显的聚集性；
- 交叉口处病害多发，据统计**近80%**的病害发生在距交叉口**150米**的范围内；



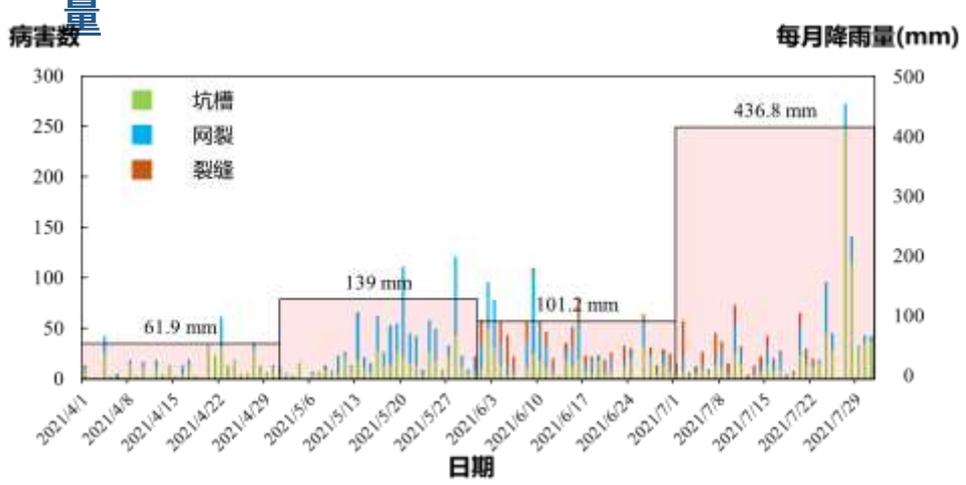
03 病害时空聚集性分析

□ 时间：病害高发时间分析

病害分布具有明显的时空聚集性

- 高温、强降雨会导致病害高发，尤其是坑槽病害；
- 极端天气来临前需重点排查修补类病害

病害数分布与降雨量



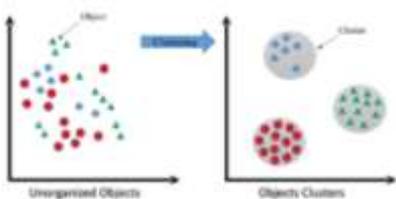
坑槽发生与极端天气



03 数据驱动的道路管养优化

养护工程优化 降本

养护站点优化



病害分布 + 路格划分 → 站点聚类



工单次序优化

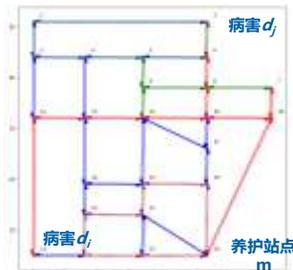
病害类型	病害尺寸	所在路级	紧迫性
坑槽	大	主干路	5
裂缝	长	次干路	3
裂缝	短	主干路	3
网状裂缝	大	次干路	4
裂缝	短	支路	1
坑槽	小	支路	2



养护路径优化



分区管理



多车协同

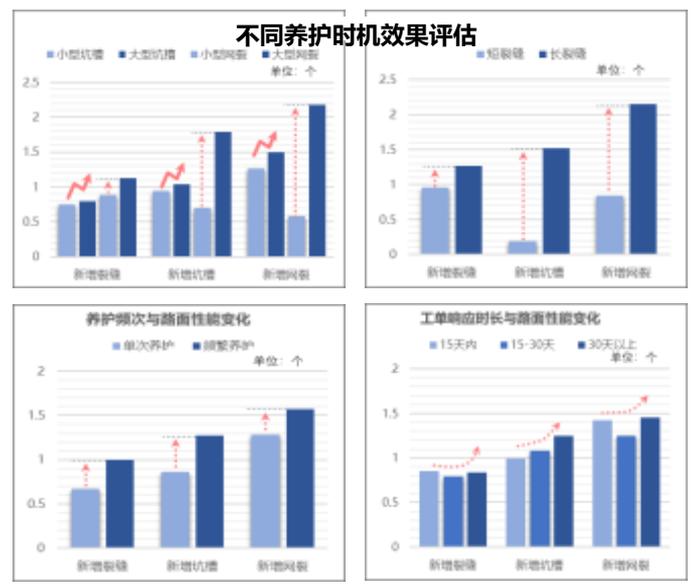
基于时空约束多级优化养护任务，科学调度降本减排

03 数据驱动的道路管养优化

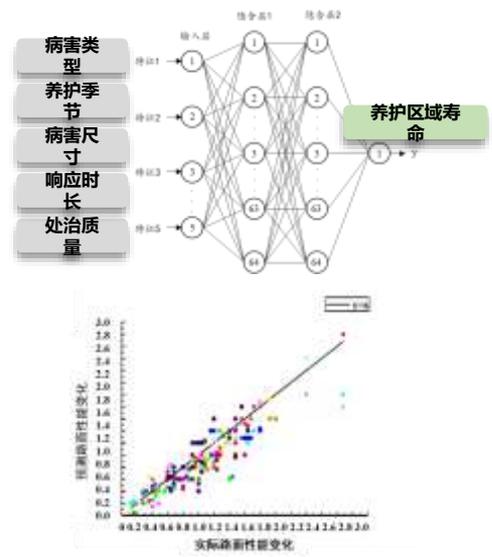
养护时机优化

增效

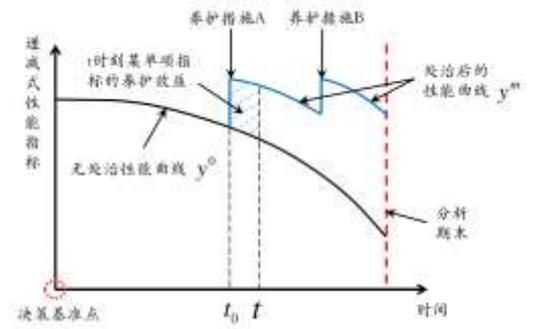
养护-路面性能规律挖掘



路面性能预测模型



路面养护长短期效益评估



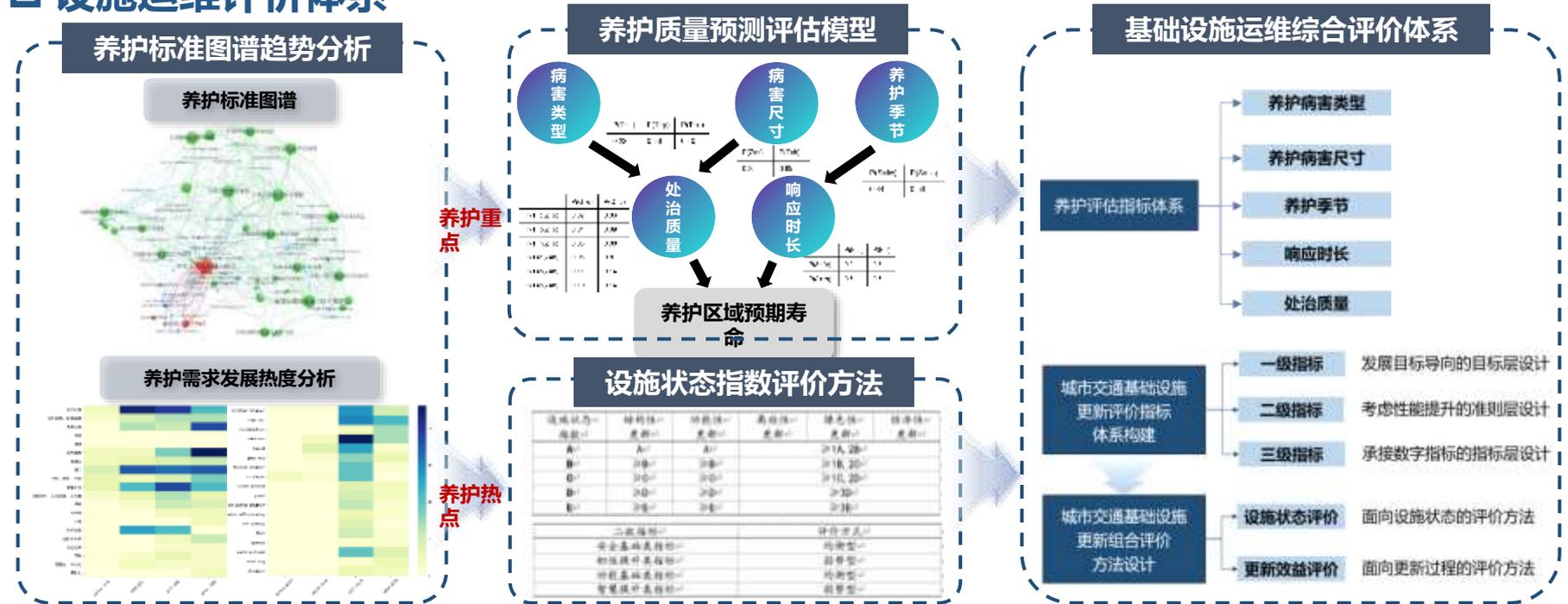
长期性能曲线变化预测

短期病害级的效益评估

“小病也修，屡坏专修”，把握最优养护时机

03 数据驱动的道路管养优化

设施运维评价体系



构建基础设施运维综合评价体系，解决“标准化”问题

03

“一路一档” 数字化建设

一路一档——数字化建档

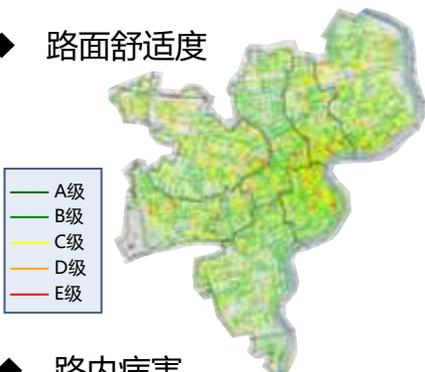
基础档案

- ◆ 路段信息
- ◆ 道路等级
- ◆ 道路路龄
- ◆ 道路状态

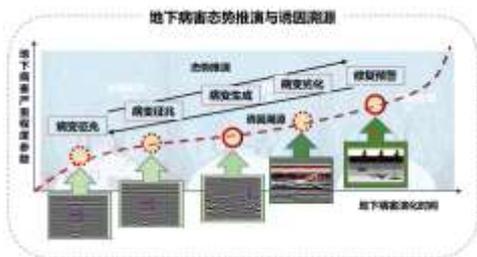


道路状况档案

- ◆ 路面病害
- ◆ 路面舒适度



◆ 路内病害



资产档案

- ◆ 道路
- ◆ 桥梁
- ◆ 桥荫桥孔
- ◆ 天桥



- ◆ 附属设施
- ◆ 地道



养护档案

- ◆ 养护时间
- ◆ 养护类型
- ◆ 养护方案

路段编号	道路名称	路段范围	道路等级	路龄	道路状态	养护时间	养护类型	养护方案
LD0050	漕溪北路	裕德路-零陵路	主干道	15	养护			

目录

CONTENTS



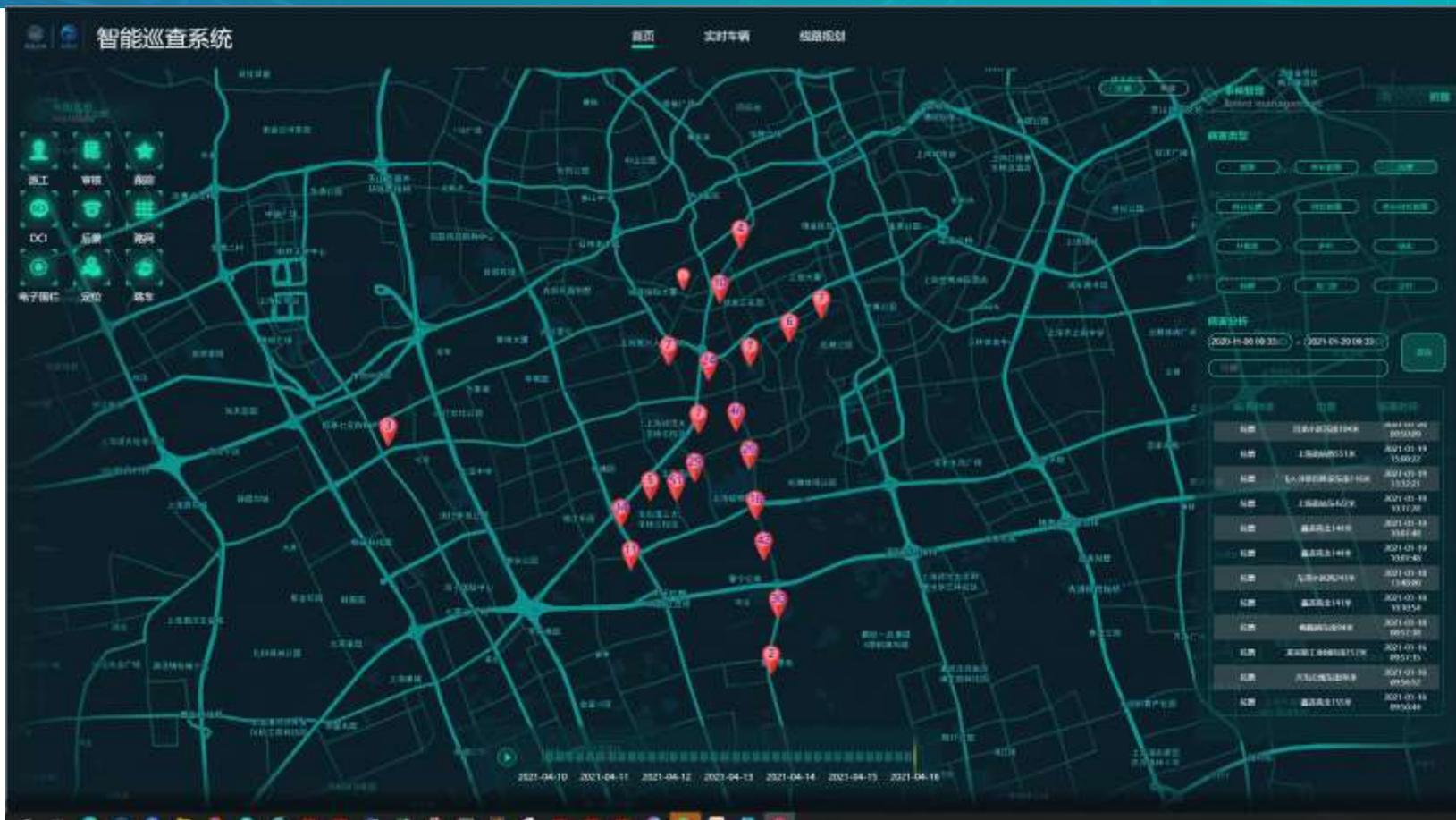
01 行业背景

02 技术体系

03 关键技术

04 应用推广

04 系统-“一图统管”智能闭环管养系统



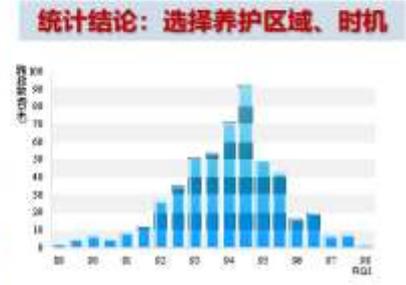
04 系统 - “一图统管” 智能闭环管养系统

城市道路精细化管养系统



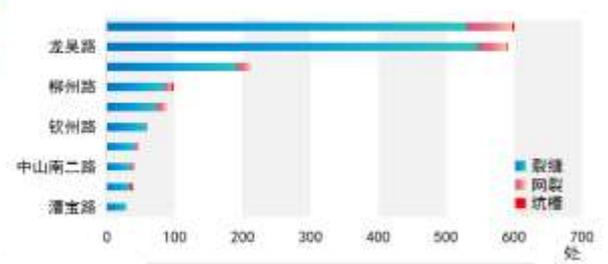
月度汇报生成

巡检覆盖核心重点路段里程共计25.05Km，包含龙吴路、钦州路、上中路、漕宝路、沪闵路等重点路段。总计检出裂缝、网裂、坑槽等三类病害共计2024例，其中裂缝占比最多，达90.5%，病害空间分布差异明显。平均路平指数 (RQI) 为94.91，整体分布均匀但存在局部异常颠簸路段。



最不好路段 最好路段 异常颠簸路段

1	柳州路 南丹路	沪闵路 (钦州路-柳州路)
2	沪闵路 桂林路	上中路 (龙川路-平福路)
3	漕宝路 漕溪北路	龙吴路 (石龙路-罗城路)
4	上中路 天钥桥路	龙川北路 (罗城路-百色路)



区内排名：制定养护优先级

主要病害类型：制定养护工艺

04 数据-城市道路基础设施大数据开放式创新平台

城市道路基础设施大数据开放式平台

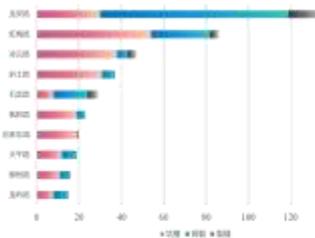
列为2021年上海市科技成果转移转化服务体系建设项目，建档病害超18万个，覆盖城市路段超3000公里，涵盖平整度、路面病害、路侧设施、窨井盖等多维度信息。



04 数据 - 高速公路时空连续路表损伤连续跟踪数据库

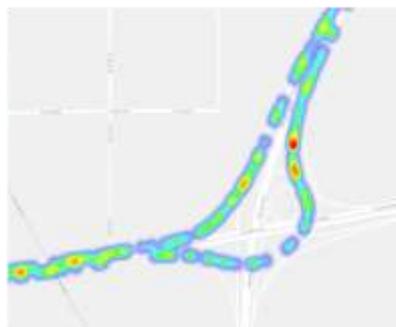
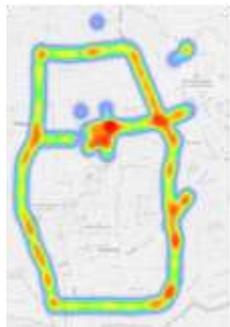
高速公路时空连续路表损伤连续跟踪数据库

首个时空连续的病害级高速公路损伤数据库，**每日更新**S26、G1503、S32等高速的损伤变化信息，正积极申请数据库进入**IEEE, IRS**等国际标准数据库平台。



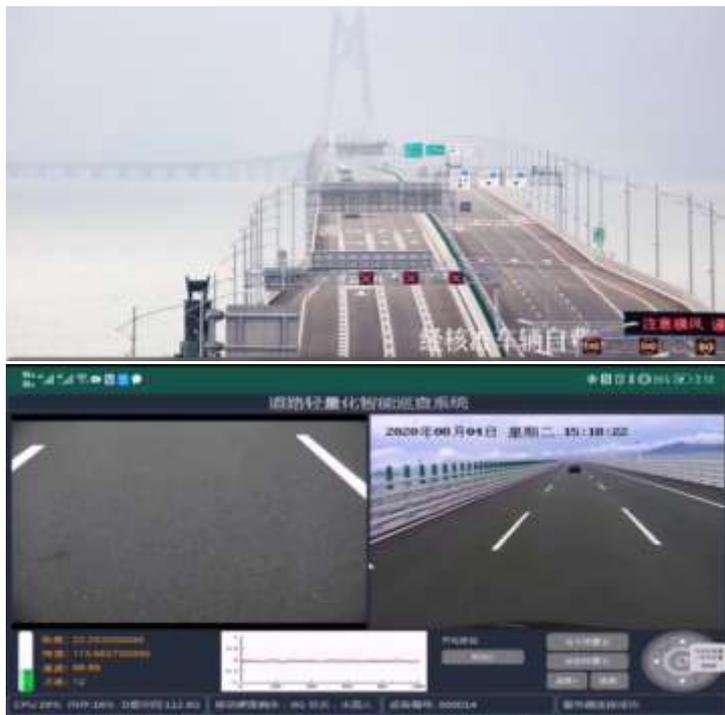
挖掘病害频发空间位点

病害发育周期分析, 研判最不利发育时间, 精准指导养护



04 港珠澳：规模最大的跨海集群设施运维应用

服务于港珠澳大桥智慧运维



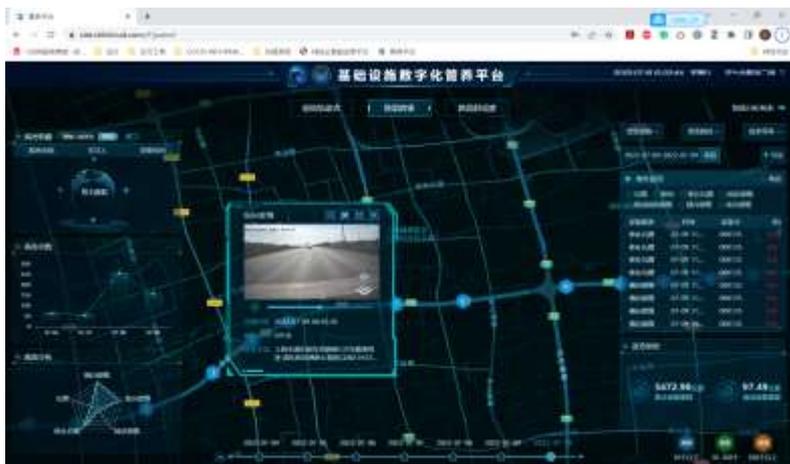
- 高频路面性能巡检装备**完成管辖区内道路日常巡查**；
- 服务于**港珠澳大桥智慧运维平台建设**；
- 参与编制《跨海集群设施公路数字化智能巡查技术规范》；
- **港珠澳大桥管理局感谢信**：“.....充分体现了技术实力和职业素养。”



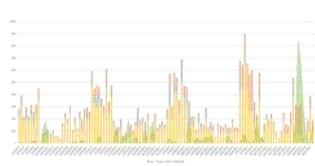
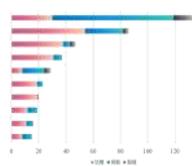
旨在全面提升港珠澳大桥智能化运维水平，降低全生命周期维养成本、提高工作效率、延长大桥使用寿命，实现“为用户提供优质服务、运营世界级品牌、创造社会和经济驾驶”的运维管理目标



04 S32智慧高速：上海首条智慧高速主动管养系统

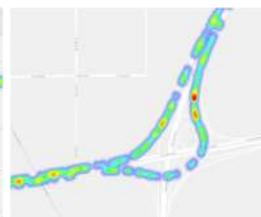


- 利用轻量化车载终端实现**全自动、高频率**的高速公路养护巡查。
- 自动**匹配、跟踪**和**分析**高速公路设施服役状况情况，跟踪病害数超2000余处，识别异常衰变位点16处，指导了病害的靶向养护与整治。
- 首创了“**一图统管**”信息管理平台，实现了多源数据的汇聚与融合解析。



挖掘病害频发空间位点

病害发育周期分析，研判最不利发育时间，精准指导养护



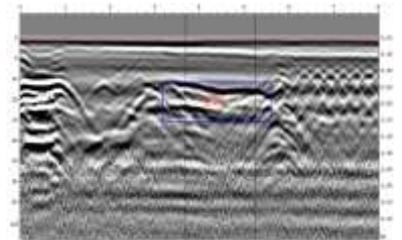
04 上海徐汇：提升最快的城市道路数字化管养试点



路上+路内联合分析
病害发现+恶化跟踪
精准管养和发育预警



- 开发了**全国领先的市政道路全周期养护管理系统**；
- 单日巡检和分析能力**可达1000公里**；
- 平均病害发现与处置时间**缩短50%以上**。
- 支撑徐汇区全域道路设施数字化管养，2021行政区养护质量排名**居首位**。



04 上海嘉定:全国首个依托众筹物流车辆的高速管理平台



- 开发了**全国领先的市政道路全周期养护管理系统**;
- 数据更新频率可提高至**1次/h**;
- 多车协助采集, **单日**即可完成辖区内全部高速道路检测;
- 除设施病害检测外, 涵盖违章停车、抛洒物、行人侵入等**超20类**交通事件检测;
- 首个接入到**上海市市长办公室**的众筹设施性能感知平台



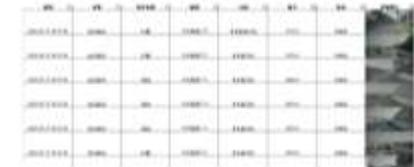
智慧管理动态巡查主界面



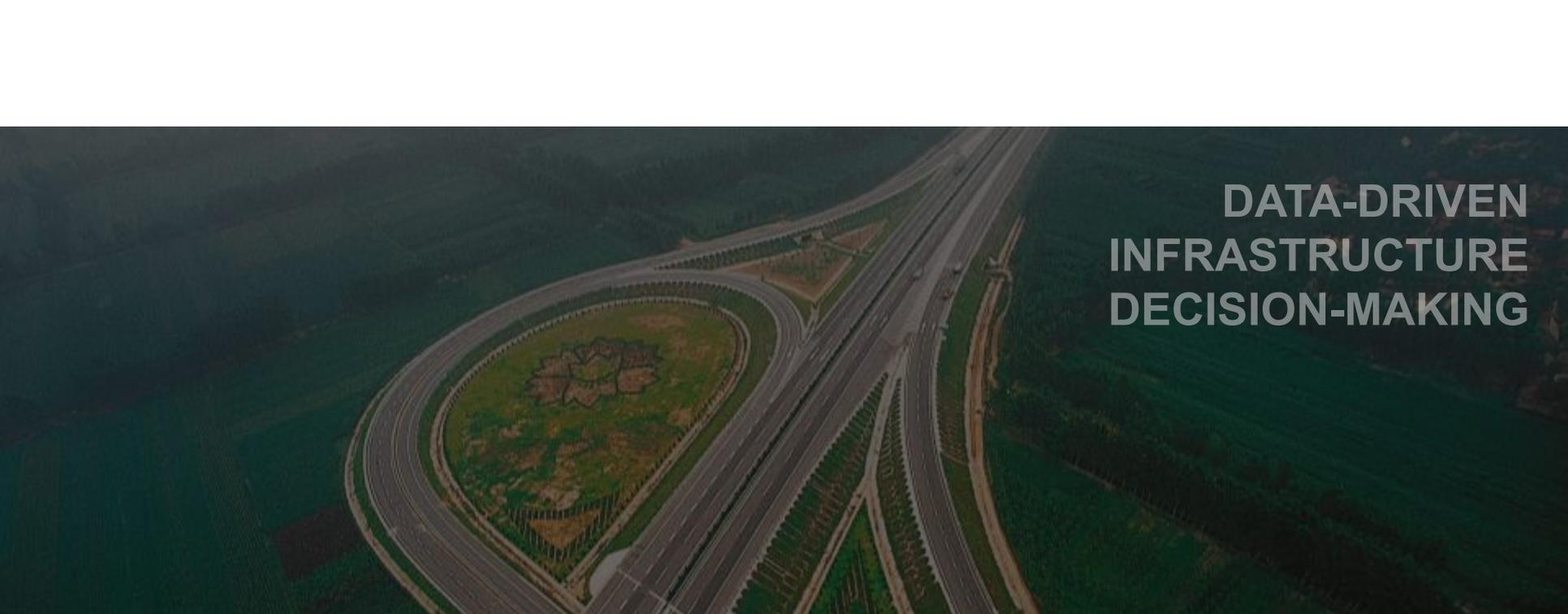
道路维护报告导出



坑槽病害展示



病害报告详情图



DATA-DRIVEN
INFRASTRUCTURE
DECISION-MAKING

谢谢 THANKS!

同济大学 交通科学与技术研究院 杜豫川 教授
138****45 ycdu@tongji.edu.cn

2023/06