

道路交通基础设施韧性提升关键技术研究

Research on Key Technologies for Resilience
Enhancement of Road Transportation Infrastructure



东南大学·交通学院

2023年6月17日 武汉WTC会议

22:03



报告提纲

一、背景及意义

二、道路交通基础设施韧性提升的现状分析

三、道路交通基础设施韧性提升基本要求

四、总结与展望

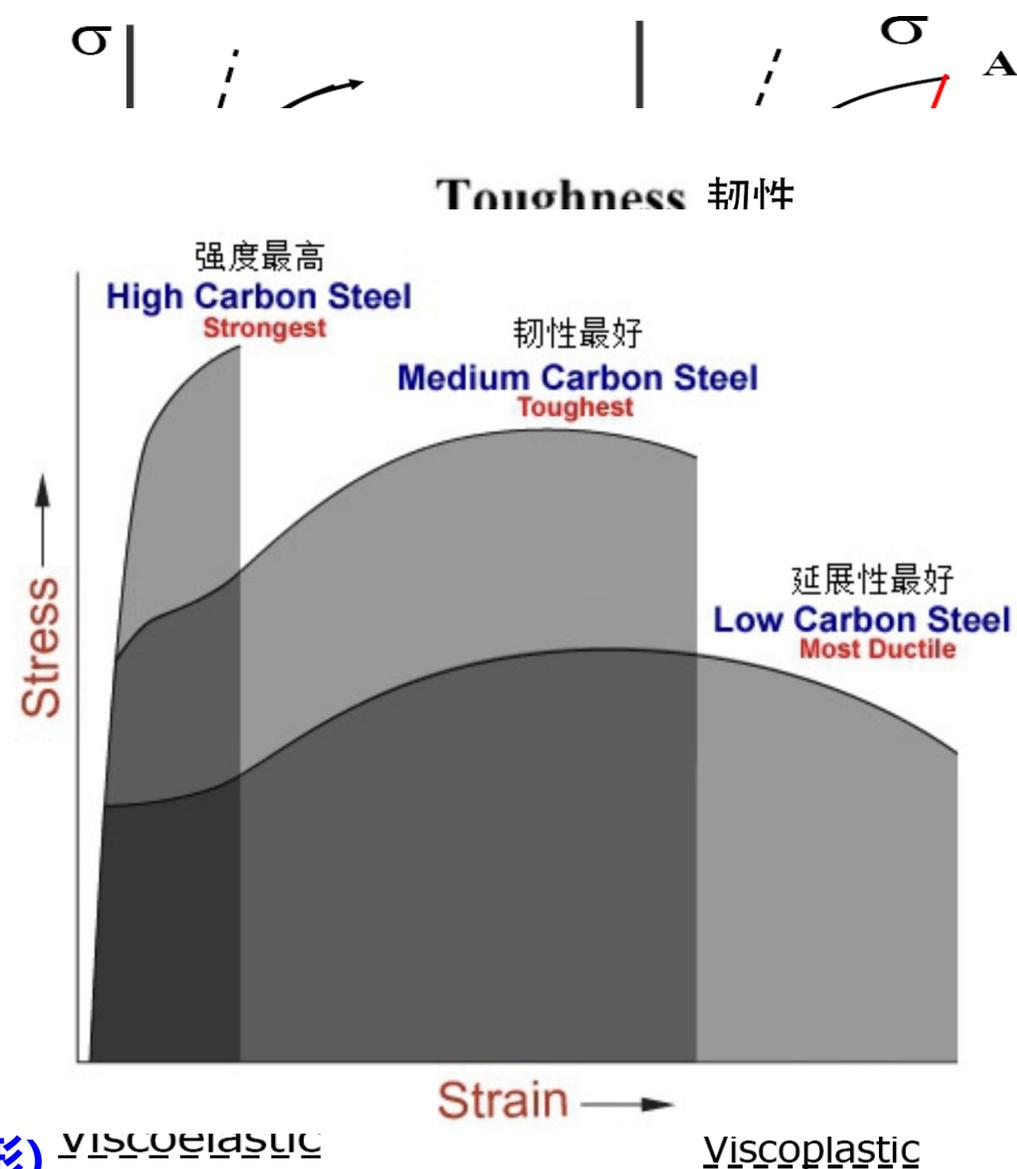
一、背景及意义

■材料性能 (弹性 塑性 黏弹性 黏塑性 等)

- ◆弹性 (线性弹性 非线性弹性)
- ◆塑性
- ◆黏弹性 (黏弹性 黏塑性)
- ◆脆性

■结构性能

- ◆弹性能 (Resilience)
 - 是指材料应力应变曲线中弹性阶段下方的面积 ($N.m/m^3$)
用于描述材料在发生弹性变形时存储弹性势能的能力
- ◆脆弱性
- ◆可靠性
- ◆柔韧性 (韧性)
 - 应力应变曲线下方的面积。 ($N.m/m^3$ J/m^3)
即：发生断裂前，单位体积的材料所吸收的能量。
- ◆延展性 (Ductility材料发生断裂前，允许发生较大的塑性变形)



一、背景及意义

■ 韧性 Resilience

◆ 表示材料在塑性变形和破裂过程中吸收能量的能力。

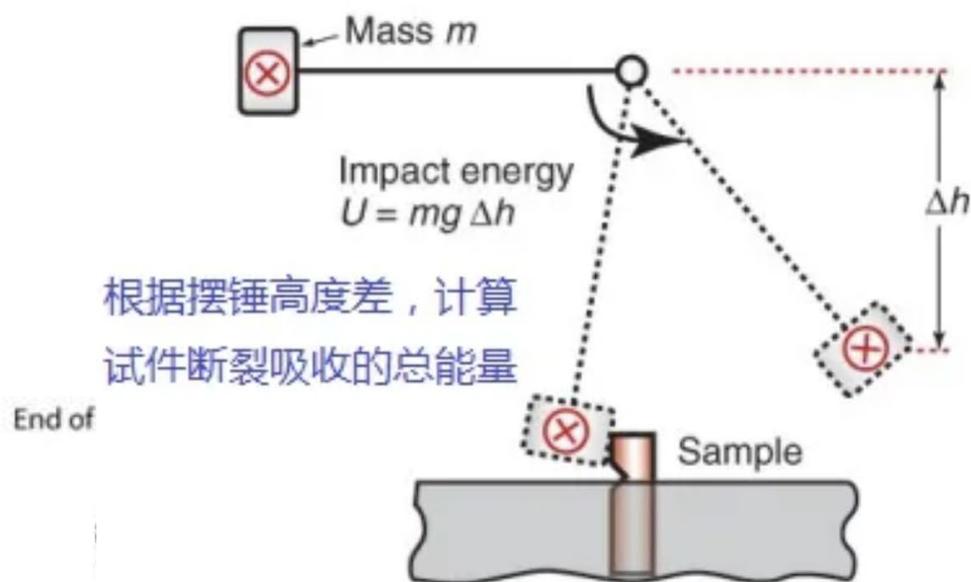
- 韧性越好，则发生脆性断裂的可能性越小。
- 在断裂前所能吸收的能量与体积的比值。焦耳每立方米 (J/m^3)

◆ 断裂韧性

- 是材料阻止宏观裂
- 它和裂纹本身的
- 是材料固有的特
- 常用断裂前物体
- 韧性材料因具有

◆ 冲击韧性

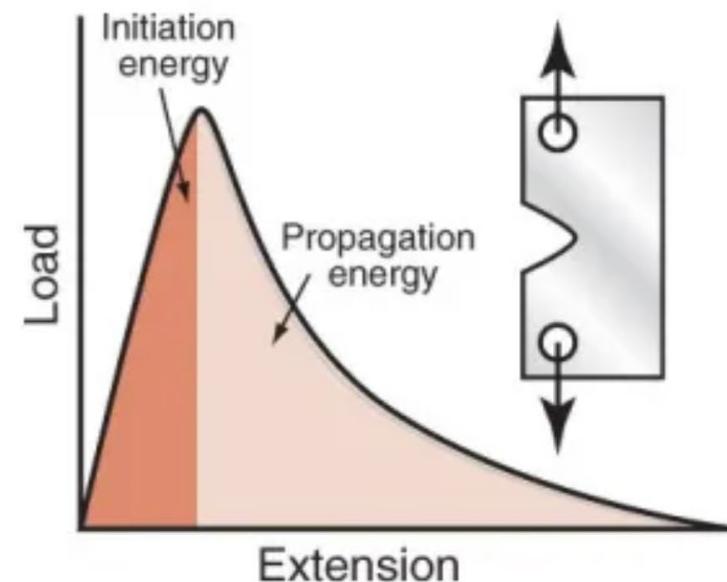
- 是反映材料对外
- 它取决于材料及



夏比摆锤冲击试验

用于测试材料的韧性Toughness

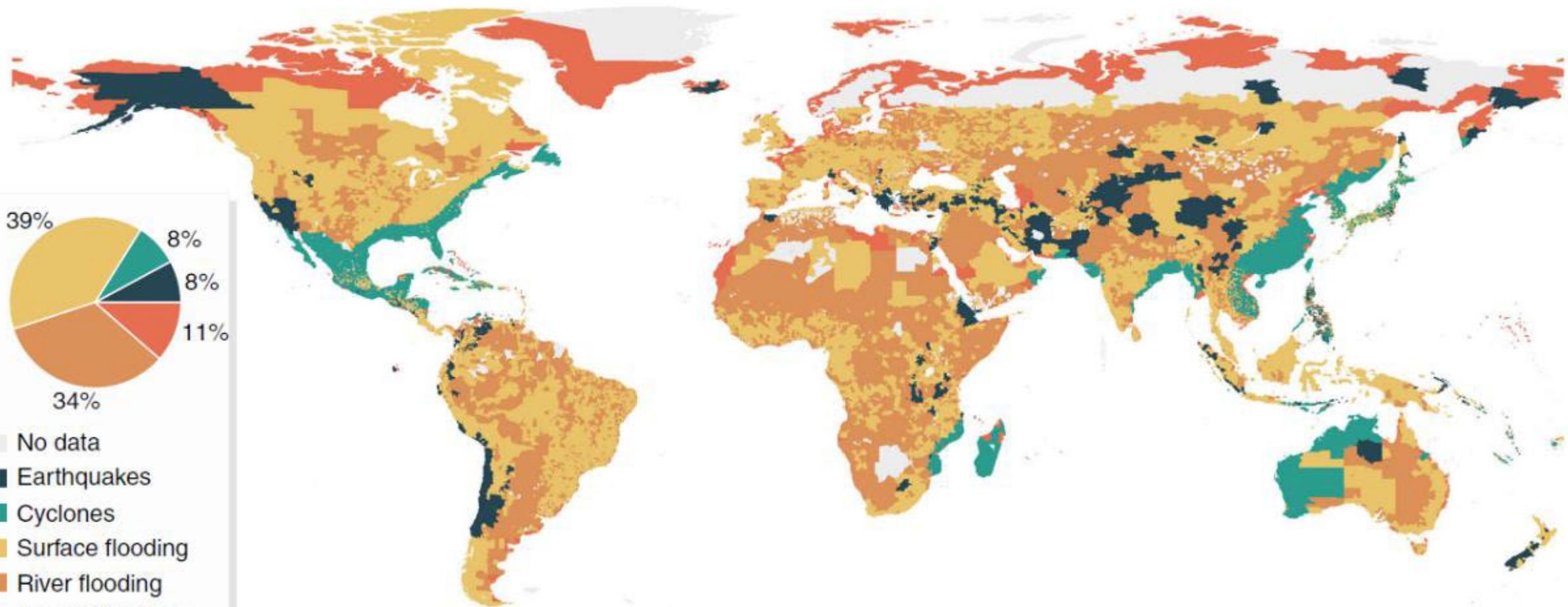
关注载荷加载时裂纹产生及扩展过程



Fracture toughness 断裂韧性测试

一、背景及意义

■全球公路及铁路资产自然灾害风险分布 (2019年6月《自然通信》第10期)



一、背景及意义

■ 交通基础设施韧性



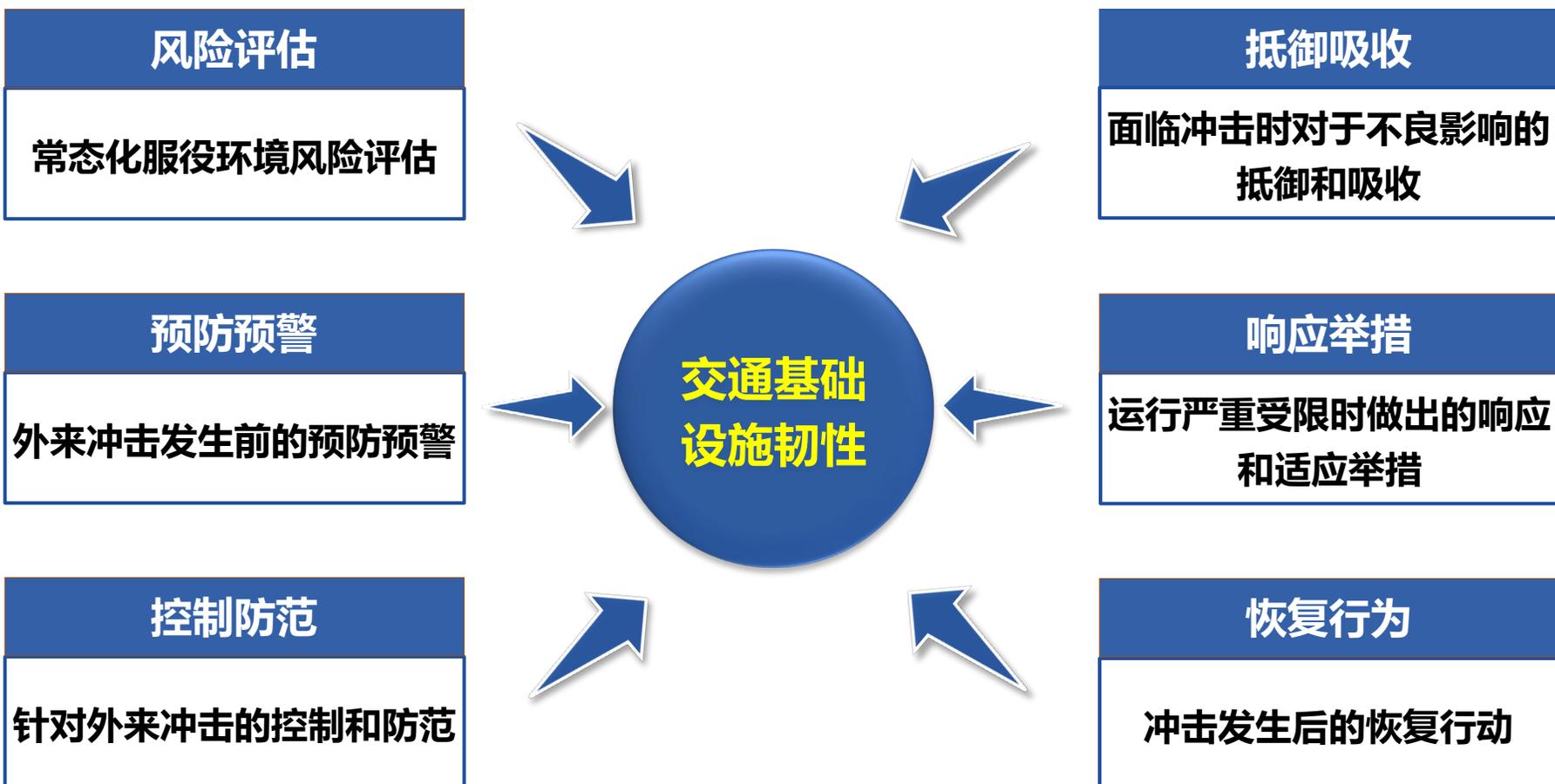
全球每年因自然灾害造成的陆路交通基础设施直接损失巨大，我国占比位居前列



一、背景及意义

■韧性交通基础设施

交通基础设施韧性是指抵御灾害、吸收冲击、恢复运行的能力



报告提纲

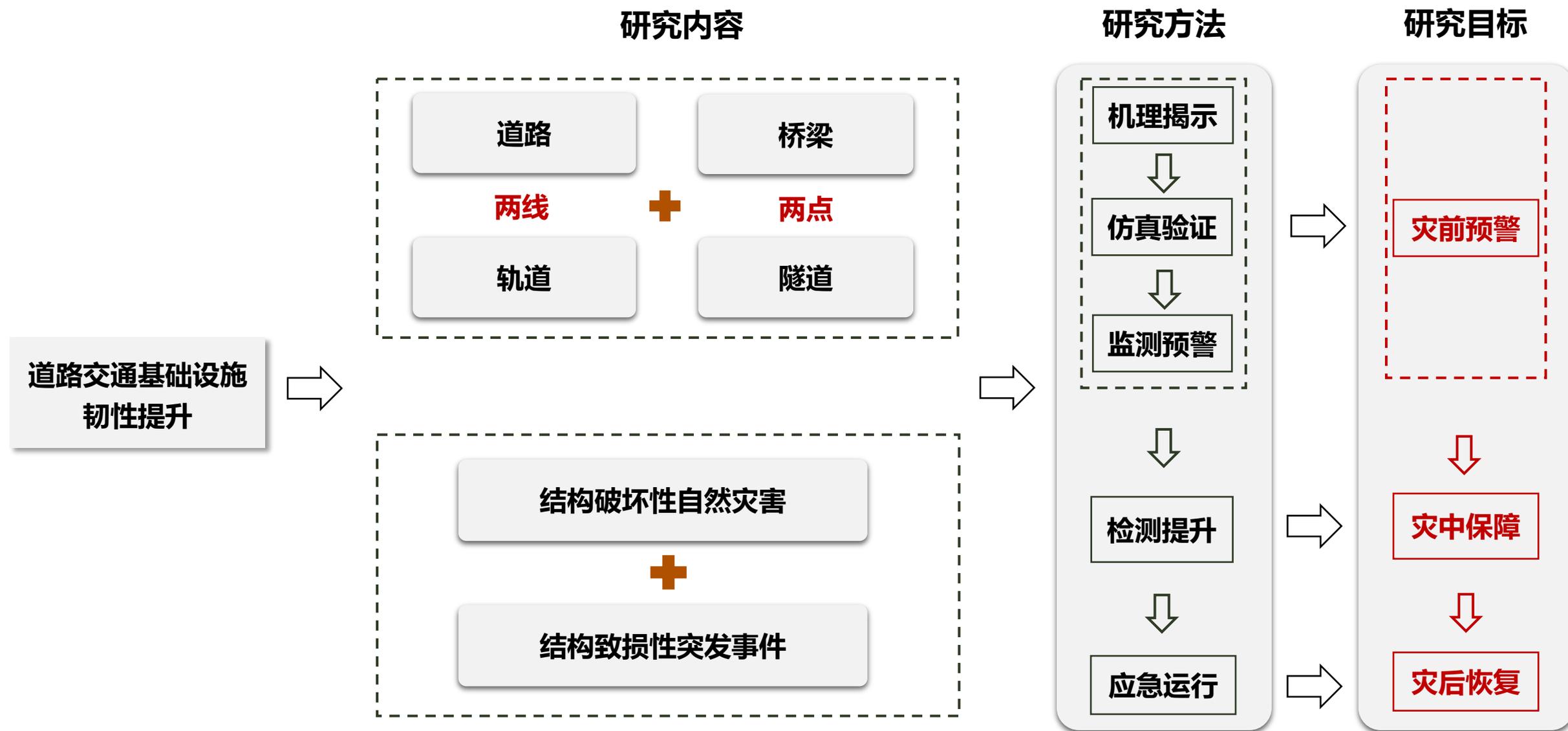
一、背景及意义

二、道路交通基础设施韧性提升的现状分析

三、道路交通基础设施韧性提升基本要求

四、总结与展望

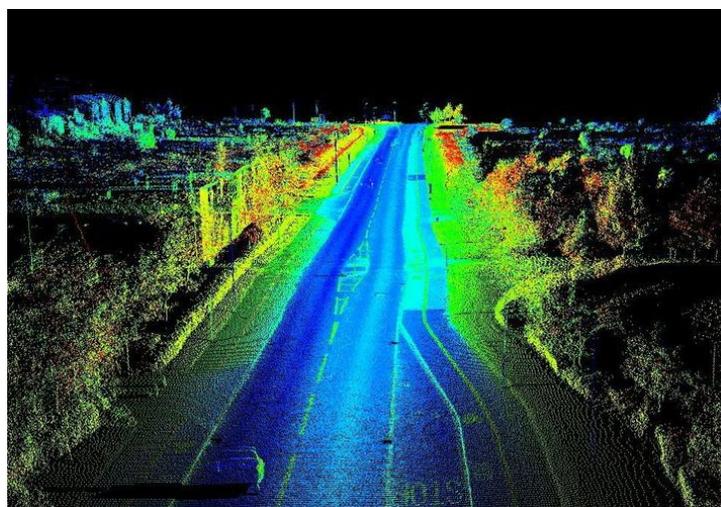
二、道路交通基础设施韧性提升的现状分析



二、道路交通基础设施韧性提升的现状分析

■灾前预警：重点在于灾变的主动预测与监测

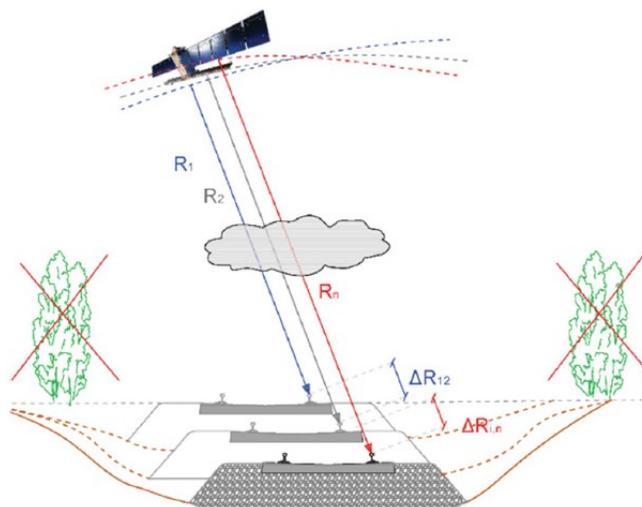
◆无损检测（NDT）在交通基础设施健康监测领域取得显著进展



激光雷达 (LiDAR)

高密度图像

但无法监测结构内部衰变



干涉雷达 (InSAR)

全天时、大范围、高精度的图像

但无法解释病害原因



探地雷达 (GPR)

设备高灵活性、可评估病害原因

但侧重局部探测，可能忽略结构缺陷

二、道路交通基础设施韧性提升的现状分析

■灾前预警：重点在于灾变的主动预测与监测

◆公路边坡监测预警系统应用广泛



渗流量 (dm³/s)

测点编号	采集时间	流量(dm ³ /s)	报警状态	操作
C01	2021-07-05 18:36:52	0.562	正常	报警
C01	2021-07-04 18:36:56	0.548	正常	报警
C01	2021-07-03 18:37:01	0.548	正常	报警
C01	2021-07-02 18:37:05	0.555	正常	报警
C01	2021-07-01 18:37:10	0.527	正常	报警
C01	2021-06-30 18:37:14	0.527	正常	报警
C01	2021-06-29 18:36:49	0.513	正常	报警
C01	2021-06-28 18:36:54	0.513	正常	报警

前端：采用现场北斗GNSS、传感器实时监测位移、沉降、雨量、水位

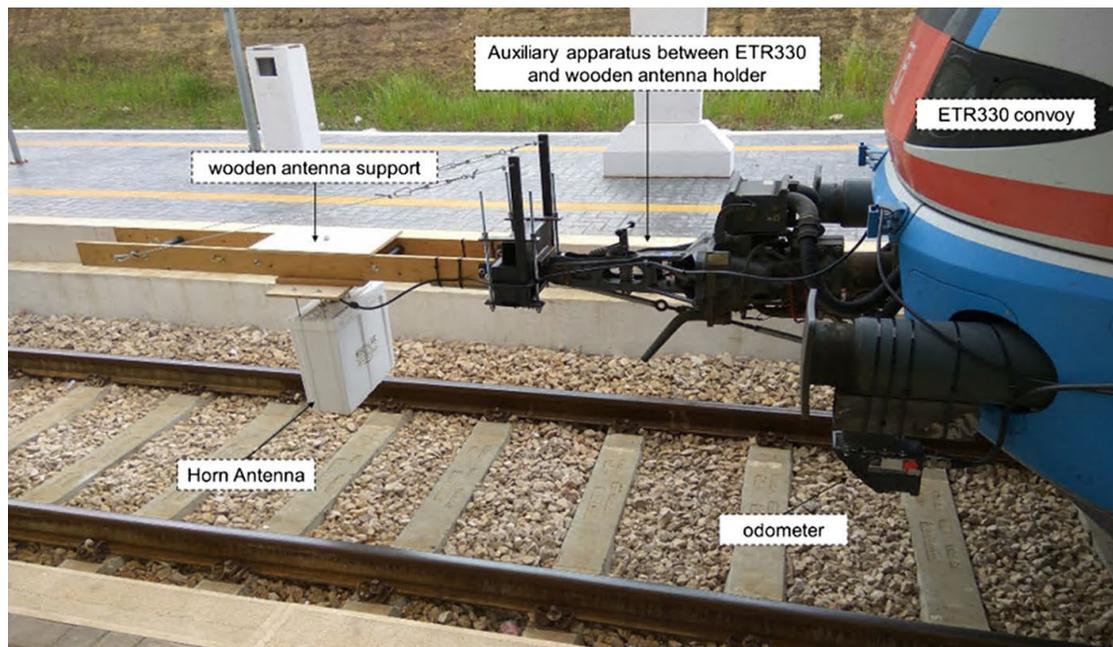
传输：数据通过传感器-基站-数据中心-终端实时传输至后台

后端：手机/电脑管理平台，数据图像实时监测、数据分析处理、命令下达

二、道路交通基础设施韧性提升的现状分析

■灾前预警：重点在于灾变的主动预测与监测

◆数据融合（Data Fusion）理念提出，实现更全面、更准确的灾前预警



干涉雷达（LiDAR）实现路网尺度定位

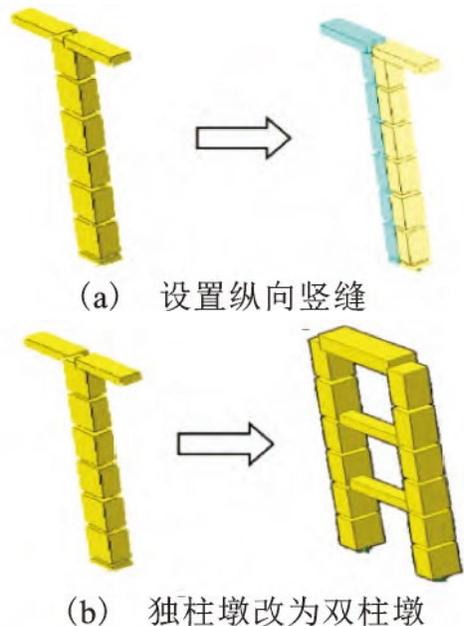
探地雷达（GPR）评估浅层病害原因

传统结构安全监测技术对象单一、监测维度有限、多源技术协调性差，
全时空全方位监测技术的组合协同性与数据的融合分析技术急需改进提升

二、道路交通基础设施韧性提升的现状分析

■灾中保障：重点在于灾变结构安全保持与提升

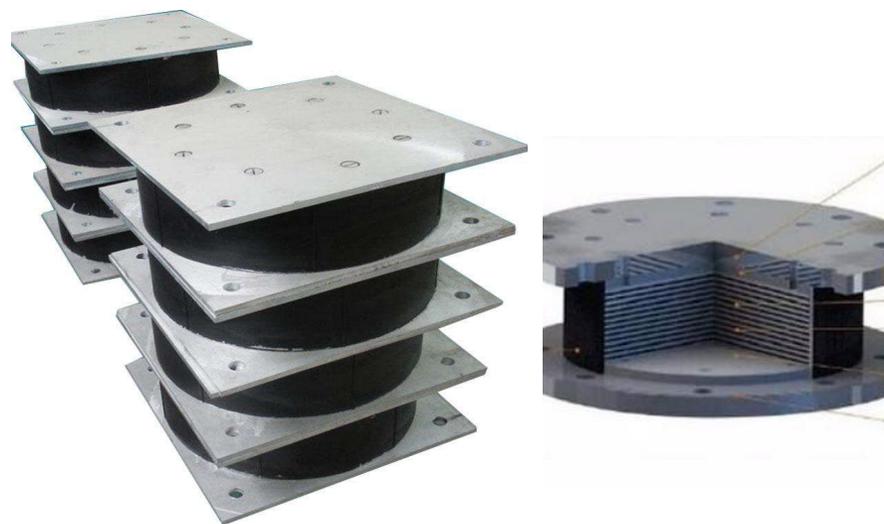
◆桥梁抗震韧性提升技术



图：基于场地条件采取的横向抗震策略

体系设计

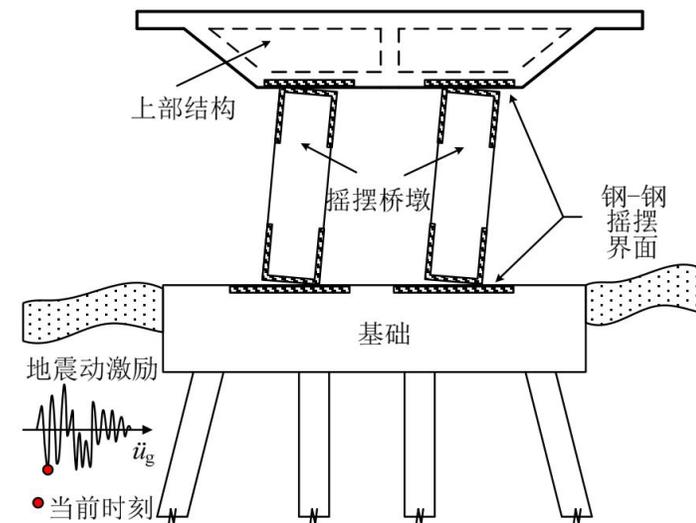
改变桥梁结构的质量、刚度分布和边界条件



图：减震支座

装置设计

减轻结构损伤，提升桥梁可恢复性



图：可摇摆结构体系

可恢复结构体系

有效减少震后动力响应与残余位移

短时间内可恢复其使用功能

二、道路交通基础设施韧性提升的现状分析

■灾中保障：重点在于灾变结构安全保持与提升

◆边坡抗震韧性提升技术



抗滑桩



挡土墙



预应力锚索



土工格栅加筋

◆边坡抗震设计主要集中于**边坡稳定性分析**，且以**静力法为主**，**真实地震动作**用下的**土体动力特性**尚需进一步研究

二、道路交通基础设施韧性提升的现状分析

■灾中保障：重点在于灾变结构安全保持与提升

◆隧道抗震韧性研究仍处于理论分析的初步阶段

- 基于使用功能的隧道抗震设防分类
- 不同设防分类的三级地震动设防水准
- 不同设防水准的隧道性能水平和性能目标
- 不同性能水平的结构性能参数选取及其设计控制目标
- 不同类型隧道的结构抗震设计方法

2019年11月26日颁布



桥梁抗震韧性提升装置自回复性、抗损能力较低，韧性提升效果不佳；
路基抗震韧性理论体系有待更新；隧道抗震韧性相关技术及装置相对匮乏。

二、道路交通基础设施韧性提升的现状分析

■ 灾后恢复：重点在于灾后柔性运行与快速恢复

◆ “柔性运行” 概念模糊

基于不同设施灾损等级，提出不同等级下的加固、降载、限速、临时路网构建等柔性运行技术。

◆ 设施快速恢复技术研究较为分散

水毁路基快速恢复方法——配筋砌体箱式挡土墙

震后路基快速恢复方法——碎石注浆桩

震后新型墩柱的快速恢复方法——BFRP布-植筋复合法

震后钢筋混凝土桥墩的快速修复技术——缠绕CFRP修复

“柔性运行” 技术概念模糊，设施快速恢复技术研究分散，技术与装备无法满足灾后交通应急保障能力需求。

报告提纲

一、背景及意义

二、道路交通基础设施韧性提升的现状分析

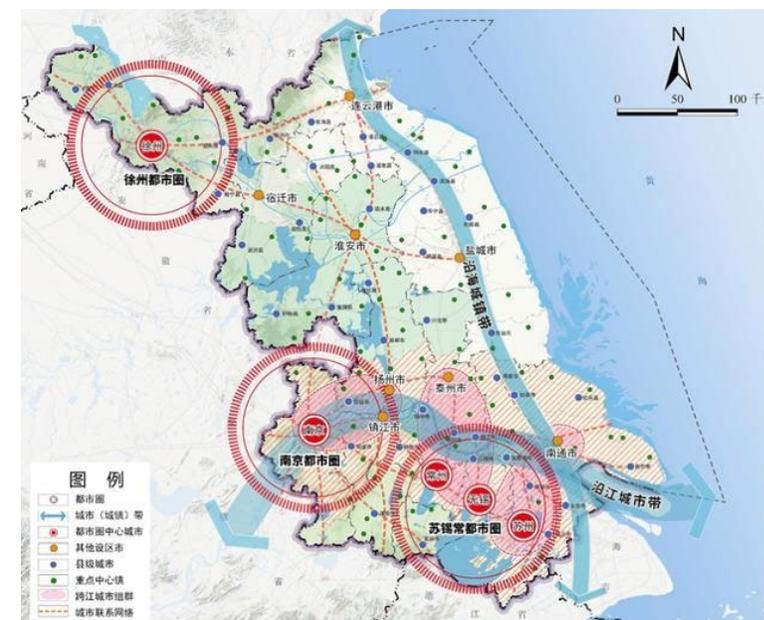
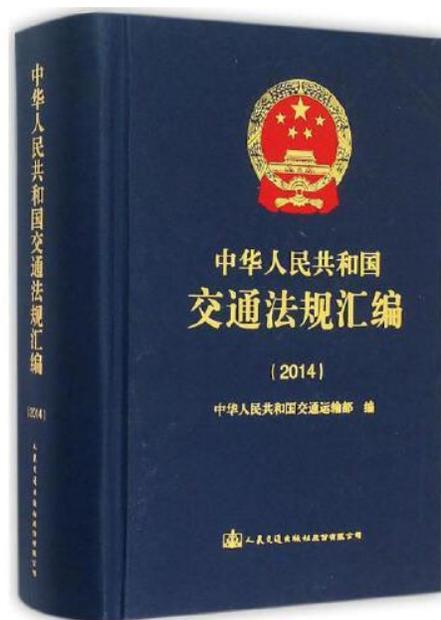
三、道路交通基础设施韧性提升基本要求

四、总结与展望

三、道路交通基础设施韧性提升基本要求

■交通主管部门

◆完善韧性交通建设顶层设计



将韧性指标纳入法律法规、建设标准

建立运营机构绩效激励机制

推动交通基础设施规划与国土空间规划一致

推动超越强制性标准建设与运营

以交通引导促进低风险空间发展

三、道路交通基础设施韧性提升基本要求

■运营管理机构

◆持续提升基础设施运营管理水平



规范化施工



常态化养护



制定应急救援方案

三、道路交通基础设施韧性提升基本要求

■运营管理机构

◆积极推动韧性提升技术应用



开展韧性提升专题培训

将韧性提升技术应用于工程实际



结合基础设施灾损现场状况

提出有效的韧性提升策略

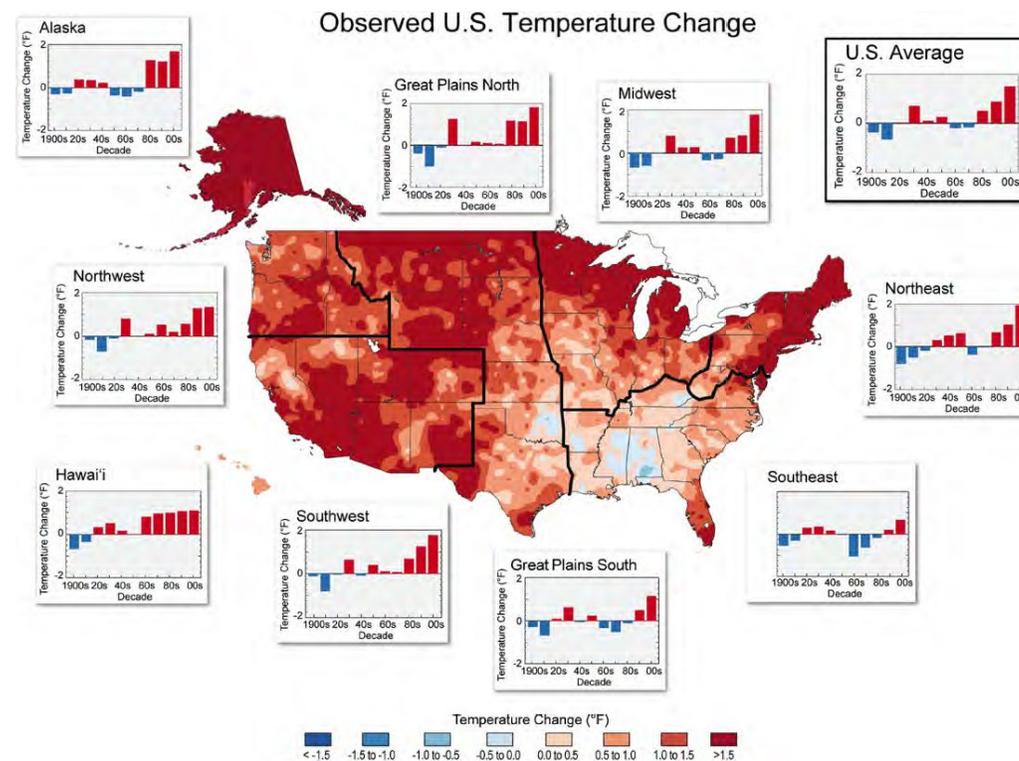
三、道路交通基础设施韧性提升基本要求

■ 科研人员



建立交通韧性评价体系

明确韧性定义及度量



优化现有结构设计方法

将风险、气候等韧性相关因素考虑在内

三、道路交通基础设施韧性提升基本要求

■ 科研人员



深化交通网络韧性研究

实施交通网络关键性分析，确保韧性提升的系统性



建立考虑韧性的全生命周期成本分析方法

为科学管理与养护提供指导

报告提纲

一、背景及意义

二、道路交通基础设施韧性提升的现状分析

三、道路交通基础设施韧性提升基本要求

四、总结与展望

四、总结与展望

■ 交通主管部门:

- ◆ 完善韧性交通建设顶层设计
- ◆ 强化韧性交通建设资金保障

■ 运营管理机构:

- ◆ 持续提升基础设施运营管理水平
- ◆ 积极推动韧性提升技术应用

■ 科研人员:

- ◆ 建立交通韧性评价体系
- ◆ 优化现有结构设计方法
- ◆ 深化交通网络韧性研究
- ◆ 建立考虑韧性的全生命周期成本分析方法





请指正!

Thanks For Your Attention

止於至善



22:03