

深厚软基处治新技术及新工艺集成研究与示范应用



浙江数智交院科技股份有限公司

温州交发大桥有限公司



浙江工业大学



浙江大学



浙江交工

浙江交工集团股份有限公司



浙交检测

浙江浙交检测技术有限公司

2022年11月

一、研究背景与研究现状

二、研究内容与工作基础

三、实施方案及技术路线

1.1 研究背景

- 交通运输是国民经济的基础性、先导性、战略性产业；“十四五”期间全国高速公路将新增通车里程2.9万公里，浙江省到2025年总里程达6000公里。
- 浙江地处东南沿海，与沿海相邻省份（如江苏）相比，我省软土工程性质相对更差，软土厚度更深，最大深度可达80米以上。



浙江省软土分布



浙江省软土工程性质

1.1 研究背景

- 三十年来，浙江省公路软基处理建设管理、设计、施工技术水平均取得长足进步，但**深厚软基处理**仍然是我省公路建设的一大难题；
- 作为交通强国建设先行省，对交通基础设施的品质提出了更高要求，需**提高**深厚软基公路的**行车舒适性**；
- 甬台温等深厚软基上高速公路**改扩建工程**的软基处理需求逐渐增加；
- 公路项目建设周期短、土地资源宝贵、环境保护要求高等**建设条件的变化**，对传统软基处理方法提出更高要求。



高速公路优良率达100%、15年不大修，普通国省道优良率超95%、10年不大修。

—— 陈利幸 厅长

1.1 研究背景

- 2022年8月，浙江省交通运输厅采用“**揭榜挂帅**”的形式对本重大研发项目进行公开招标；
- 招标文件要求对**深厚软基**处治进行系统研究，重点解决**五个方面的问题**，形成浙江省软基处治类型全覆盖的**勘察—设计—施工—监测—检测全过程、全链条集成解决方案**；
- 2022年8月30日，由**浙江数智交院科技股份有限公司**牵头，**浙江大学、温州交大大桥有限公司、浙江交工集团股份有限公司、浙江工业大学、浙江浙交检测技术有限公司**组成**联合体**中标本项目。

一、研究背景与研究现状

二、研究内容与工作基础

三、实施方案及技术路线

2.1 关键问题

软基处治主要问题

对软土特性、加固机理认识不足

理论计算与实际差别大

缺乏有效监测手段和动态设计方法

不均匀沉降控制技术不完善



关键问题

典型软基处治计算新方法、新手段和计算参数

基于行车舒适性的沉降评价方法和沉降控制标准

软基处治标准化施工工艺及装备、数字化监控技术与系统

软基全过程沉降智能监测技术与系统

适用于施工过程中的沉降控制指标和沉降动态预测方法

不同软基处治方式、老路改扩建差异沉降衔接过渡控制技术

典型软基处治新结构、新技术及成熟工艺

2.2 研究内容

关键问题

问题1: 典型软基处治计算新方法、新手段和计算参数

问题2: 基于行车舒适性的沉降评价方法和沉降控制标准

问题3: 软基处治标准化施工工艺及装备、数字化监控技术与系统

问题4: 软基全过程沉降智能监测技术与系统

问题5: 适用于施工过程中的沉降控制指标和沉降动态预测方法

问题6: 不同软基处治方式、老路改扩建差异沉降衔接过渡控制技术

问题7: 典型软基处治新结构、新技术及成熟工艺

课题设置

课题1

软基处治技术分析总结与效果评价

课题2

软基处治理论分析研究

课题3

软基处治勘察设计新技术、新方法研究

课题4

软基处治新工艺、新设备研究

课题5

软基处治全过程智能监测技术研究

应用示范

一、研究背景与研究现状

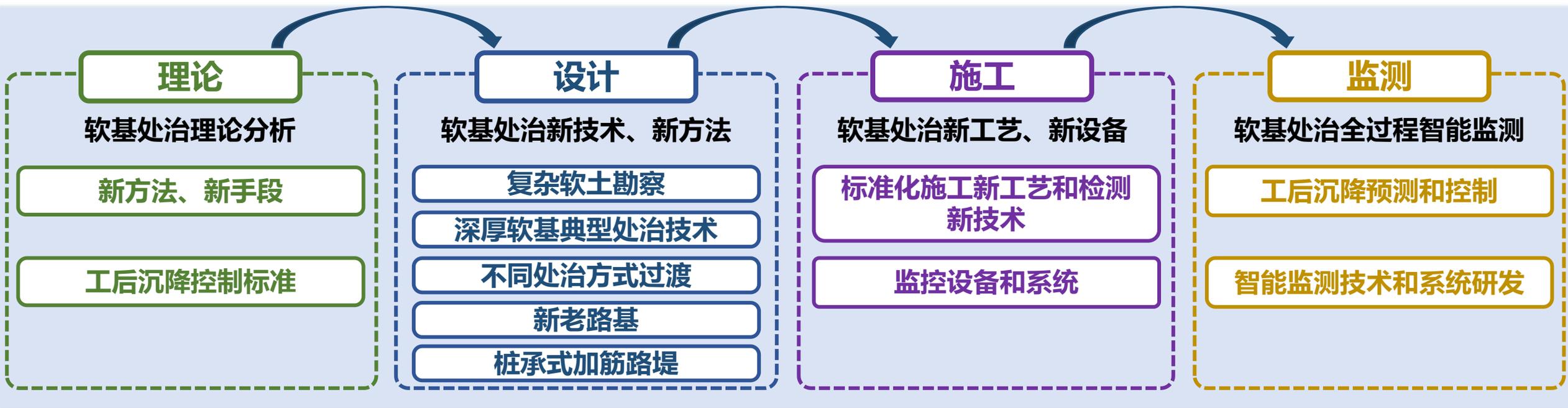
二、研究内容与工作基础

三、技术路线及实施方案

3.1 技术路线

深厚软基处治新技术及新工艺集成研究与示范应用

软基处治技术总结与评价



示范应用

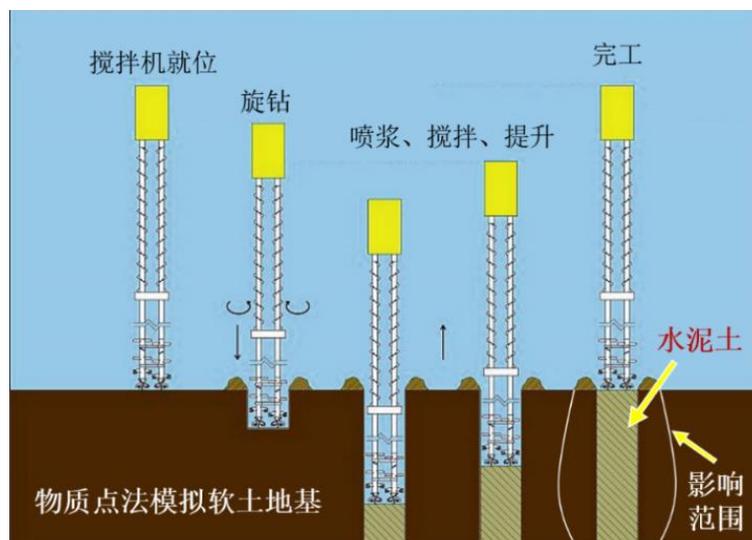
课题1：软基处治技术分析总结与效果评价

- 对浙江省公路典型工程涉及的**工程概况、软基处治技术、设计施工方法及沉降加固成功与失败经验**开展深入调查和分析总结

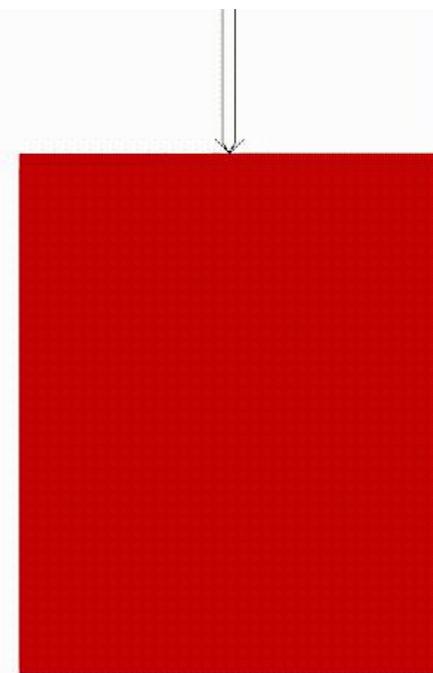
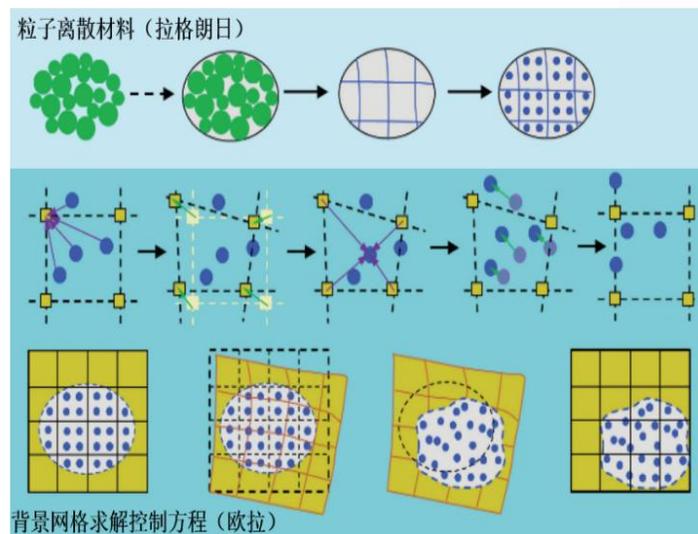
| | | | |
|------------------|--|-------------------------|-----------------|
| 典型工程 | 杭甬高速、甬台温高速、杭浦高速、申嘉湖高速、杭州绕城高速、温州绕城高速等 | | |
| 工程概况调查 | 软土类型与厚度、路基填高、软基处治技术、设计计算资料、设计变更情况、施工装备、施工质量控制 | | |
| 典型地基处治技术 | 管桩 | 排水固结联合堆载 | 水泥搅拌桩 |
| 设计施工调查 | 打设深度、间距、直径、壁厚、桩帽形式、桩帽尺寸、褥垫层形式、褥垫层尺寸 | 堆载大小、堆载时间、排水板类型、打设深度、间距 | 打设深度、间距、直径、成桩质量 |
| 加固效果调查与评价 | 施工沉降、工后沉降、不均匀沉降、现场行车舒适性、路面平整程度、桥头搭板断裂及脱空情况、路面开裂情况、加铺情况 | | |

课题2：软基处治理论分析研究

- 针对不同软土特性和软基处治方案，发展精细化数值分析和沉降计算方法，**细化土性参数，提升软基处治设计计算精度**
- 分析工后沉降对公路行驶质量的影响，提出**基于行车舒适性的沉降评价方法和控制标准**



物质点法模拟水泥搅拌桩软基处理



沉桩过程模拟

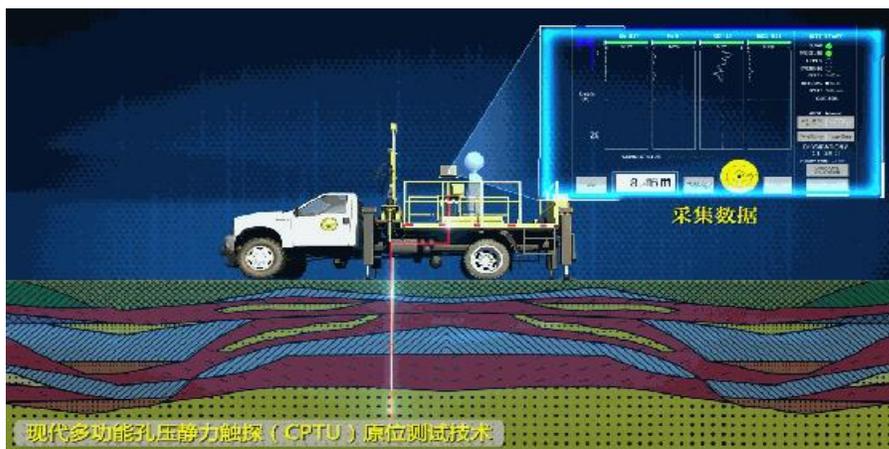
课题3：软基处治勘察设计新技术、新方法研究

□ 软土智能勘察技术

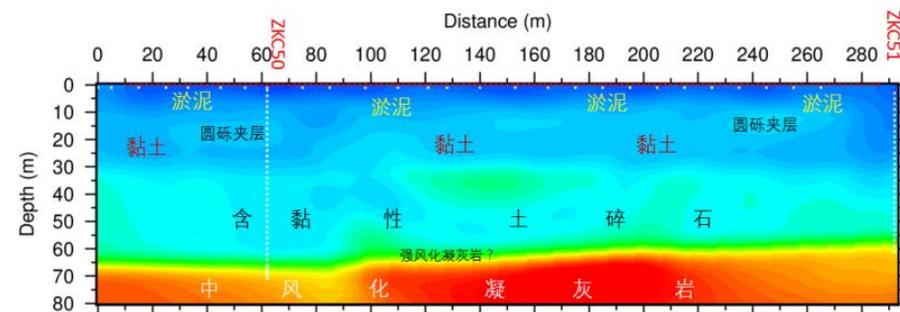
- 研发软土**微扰动薄壁取土器**，获得高质量原状土样用于室内土工试验
- 开展现场测试（十字板试验、波速试验与**孔压静力触探（CPTU）**试验等），结合室内实验数据，通过机器学习方法建立**全域土体参数时空分布**
- 建立浙江软土勘察综合技术要点和分区域典型土层土体的基本**设计参数范围**



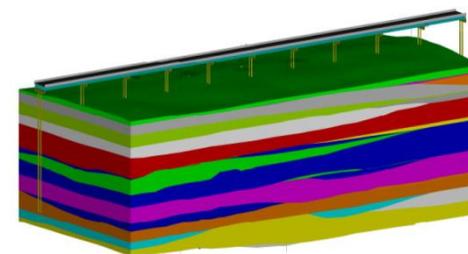
三重管薄壁取土器



CPTU流动勘察试验



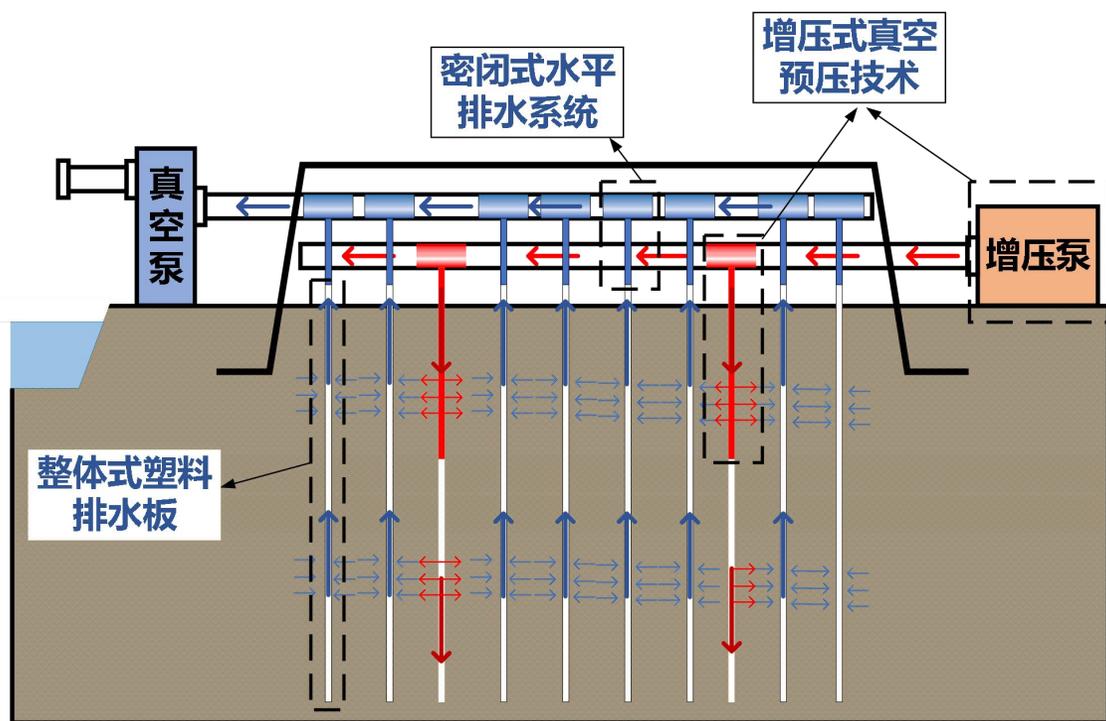
井地联合勘察成果



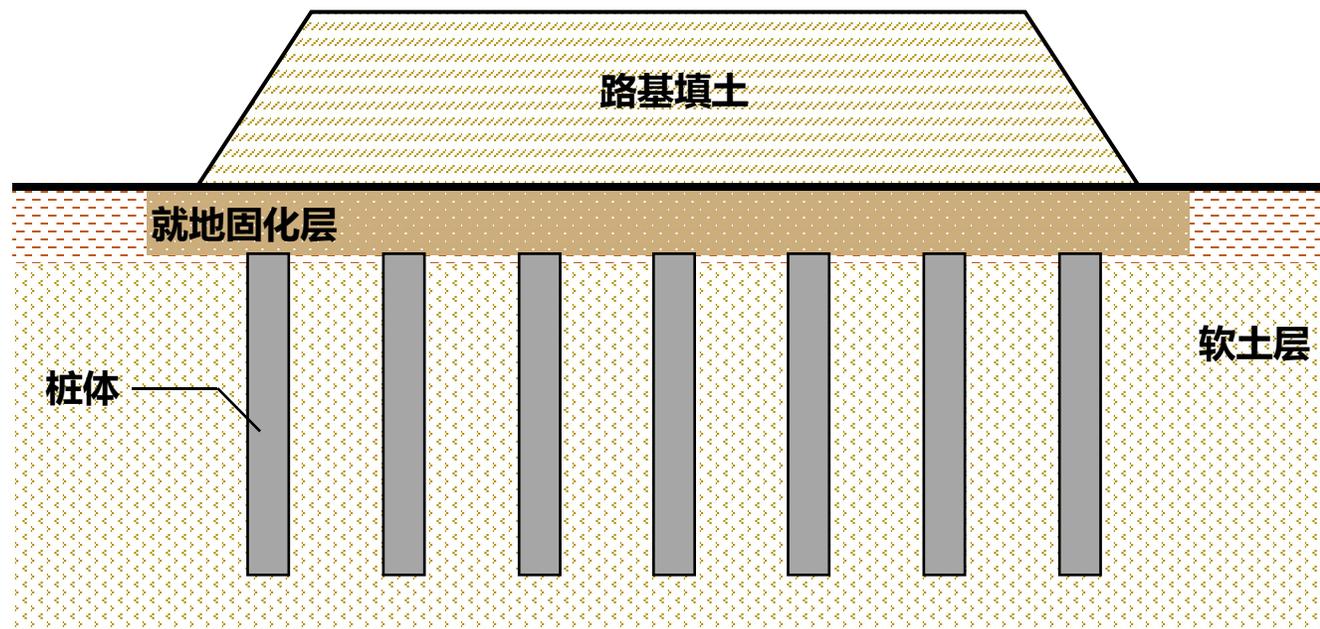
BIM三维地质模型

课题3：软基处治勘察设计新技术、新方法研究

针对沿海滩涂等无硬壳层路段、新吹填等超软土地基处理难度大、效果差的难题，开发复式防淤堵真空预压地基预处理成套技术，以及就地固化硬壳层结合桩基复合地基技术



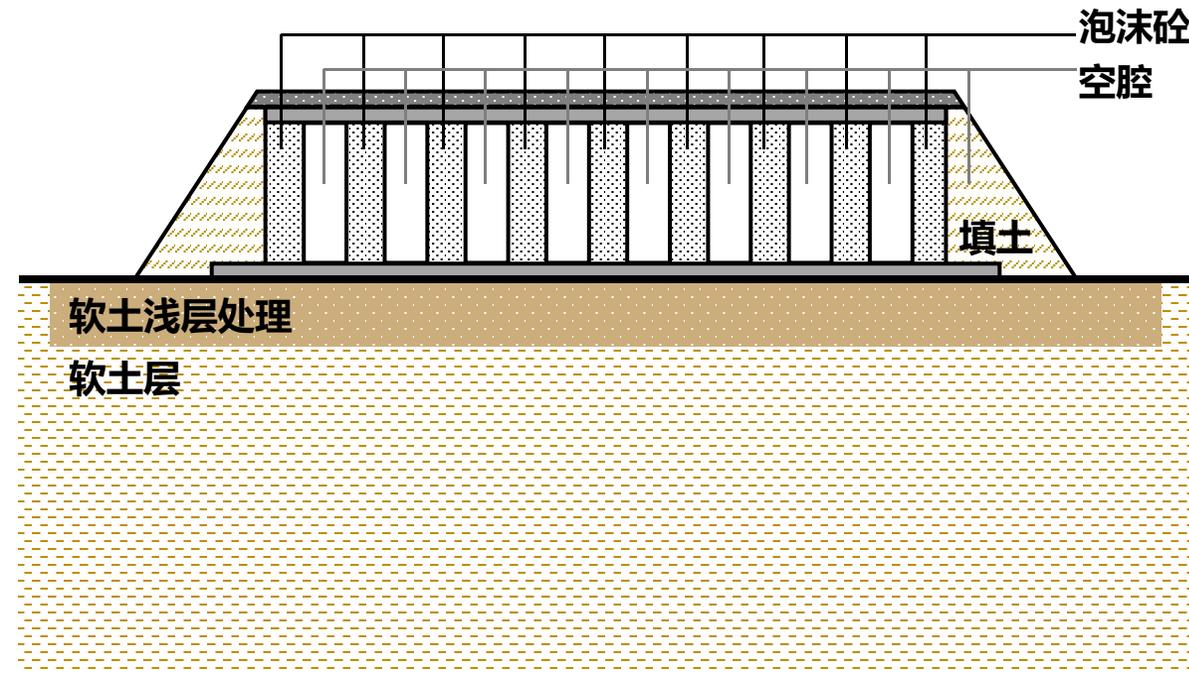
复式防淤堵真空预压地基预处理成套技术



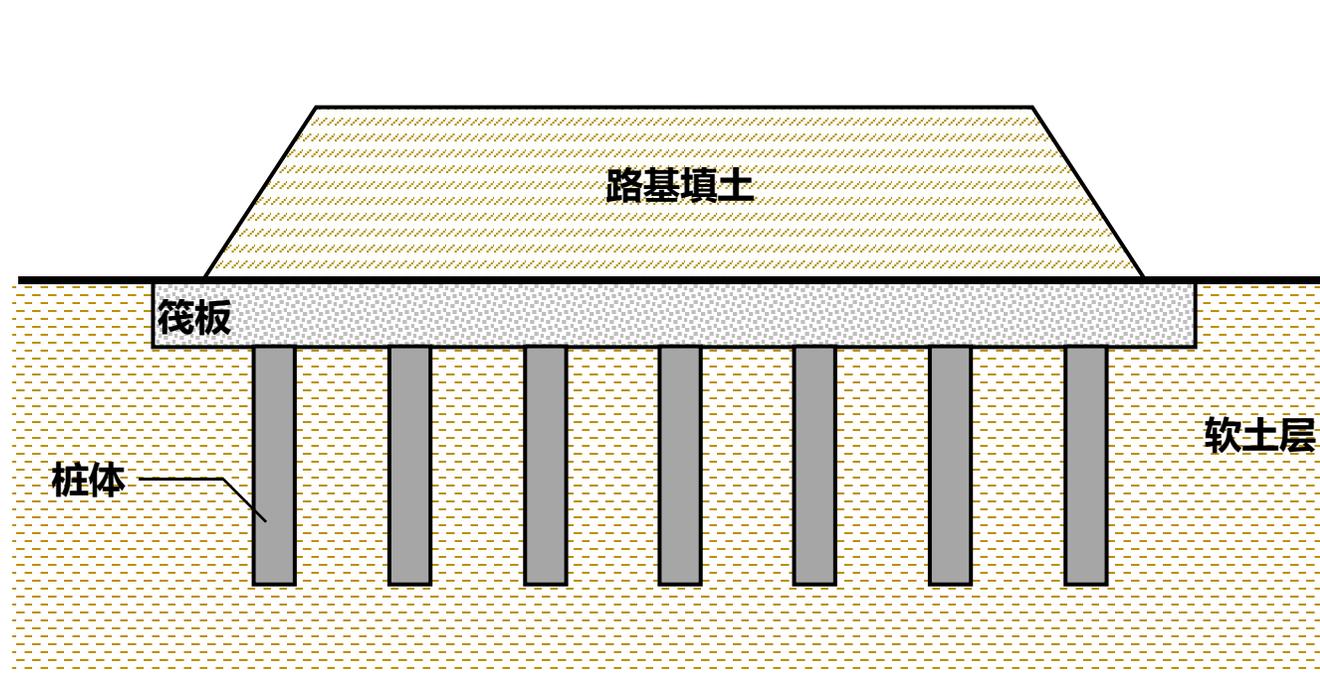
就地固化硬壳层结合桩基复合地基技术

课题3：软基处治勘察设计新技术、新方法研究

- 对**超过30米**的深厚软土，拟采用**超轻质路堤（空腔泡沫混凝土、EPS超轻质路堤）、桩筏基础**，通过**试验、数值分析**研发相应的设计方法与施工工艺



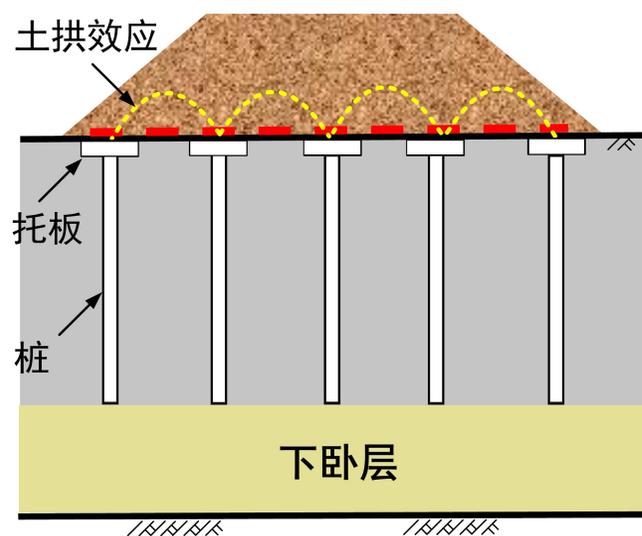
超轻质路堤新结构结合浅层处理技术



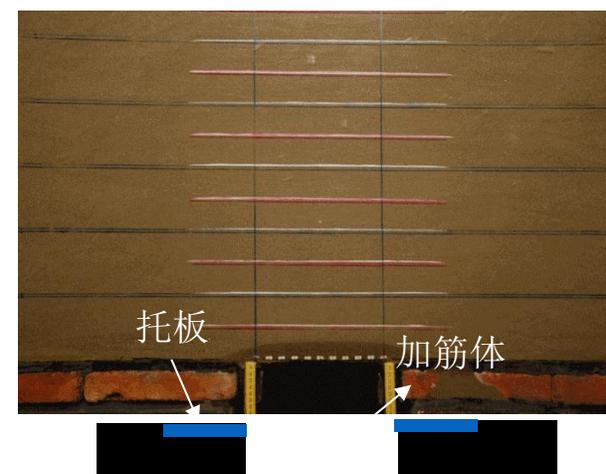
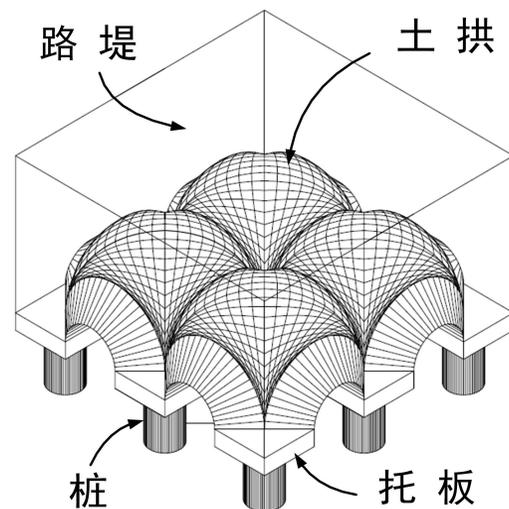
桩筏基础技术

课题3：软基处治勘察设计新技术、新方法研究

- 研究桩承式路堤加筋褥垫层设计方法，研发新型高强度材料格栅褥垫层，提出新型加筋材料褥垫层与路堤桩协同作用机理、设计计算方法、桩帽设置方式、褥垫层结构及材料组成与质量控制要求等。



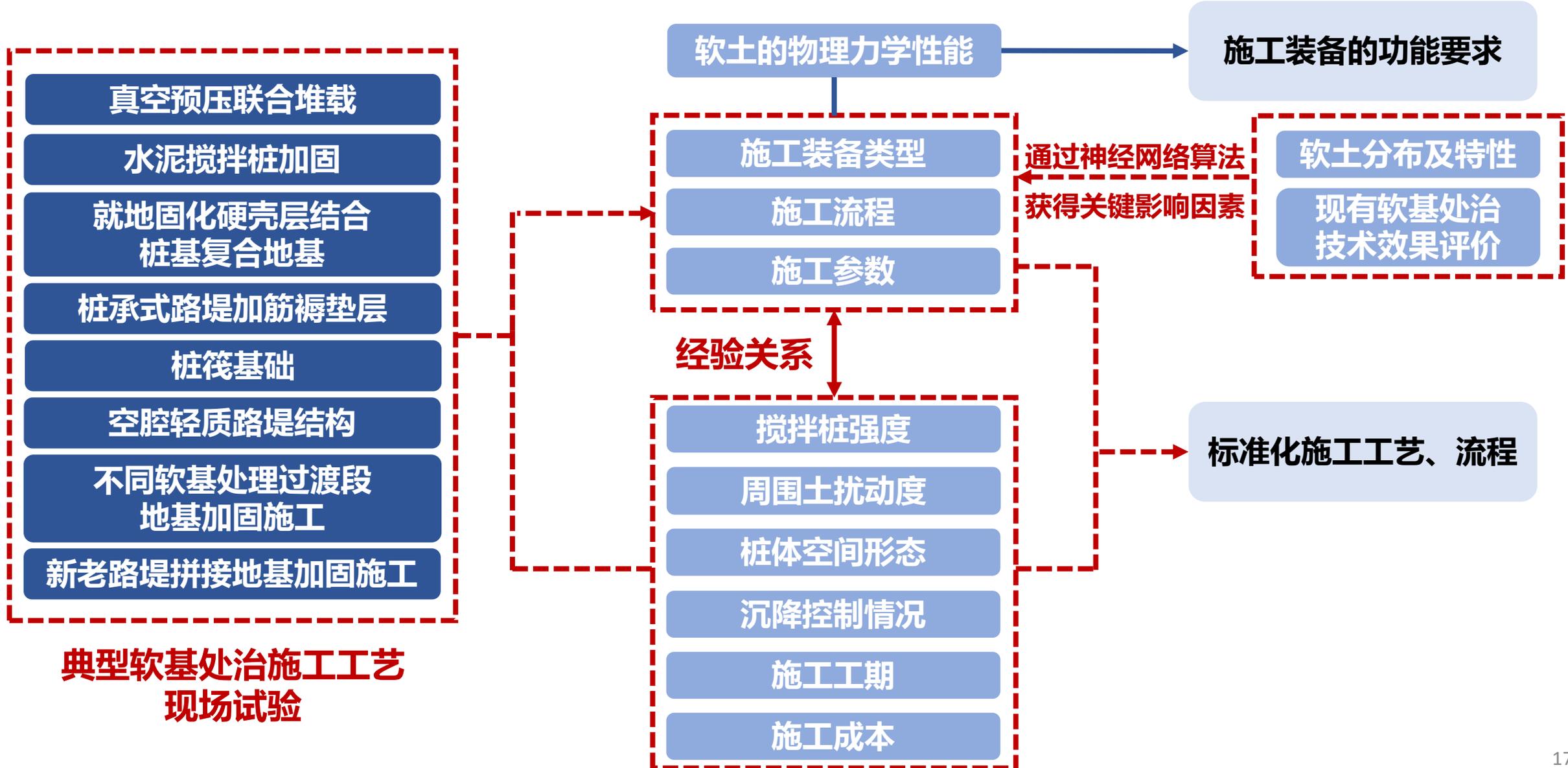
路堤-托板-桩-地基相互作用模型



土拱效应试验

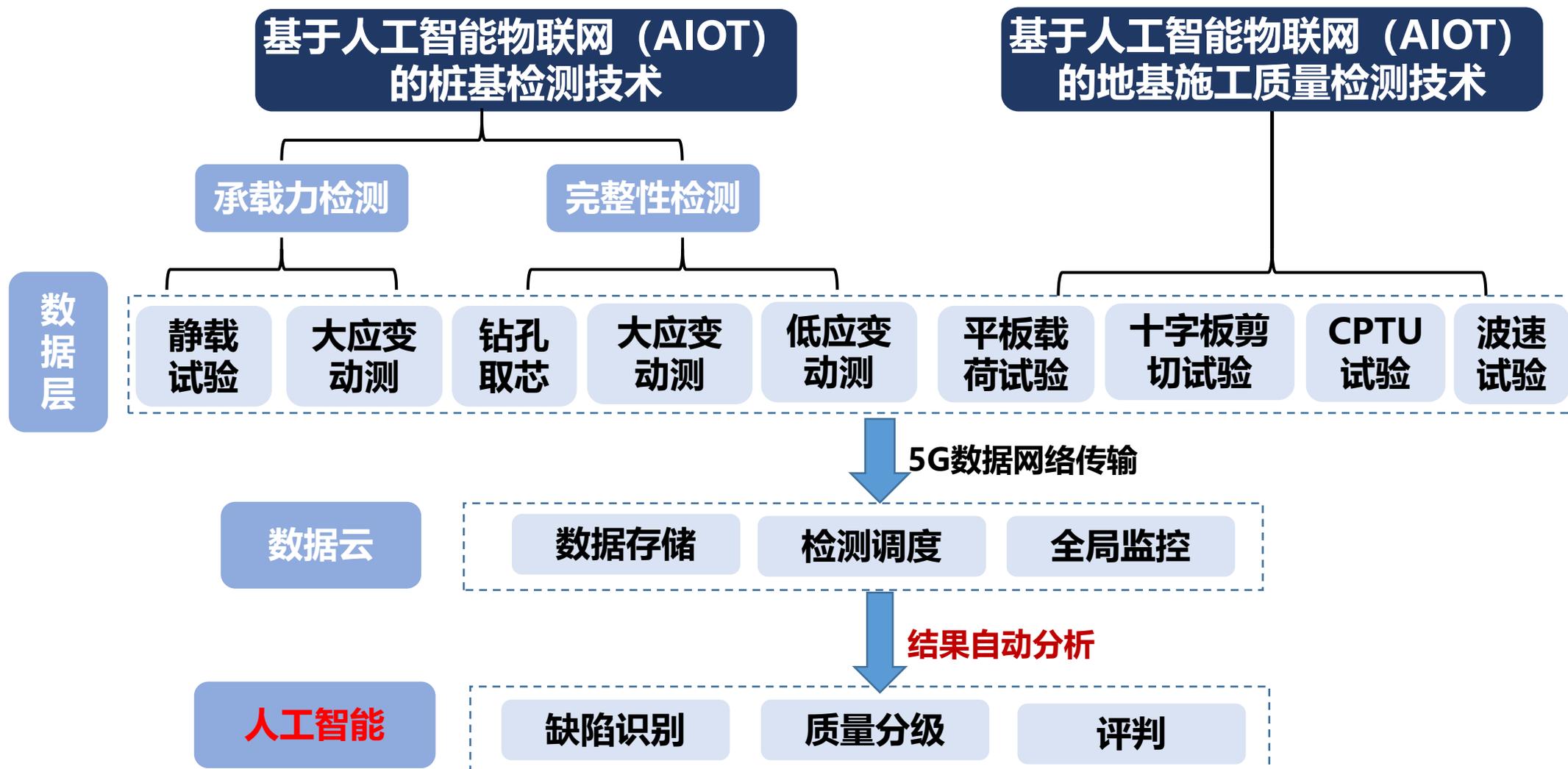
课题4：软基处治新工艺、新设备研究

□ 典型软基处治方法标准化施工工艺、流程和施工装备功能要求研究



课题4：软基处治新工艺、新设备研究

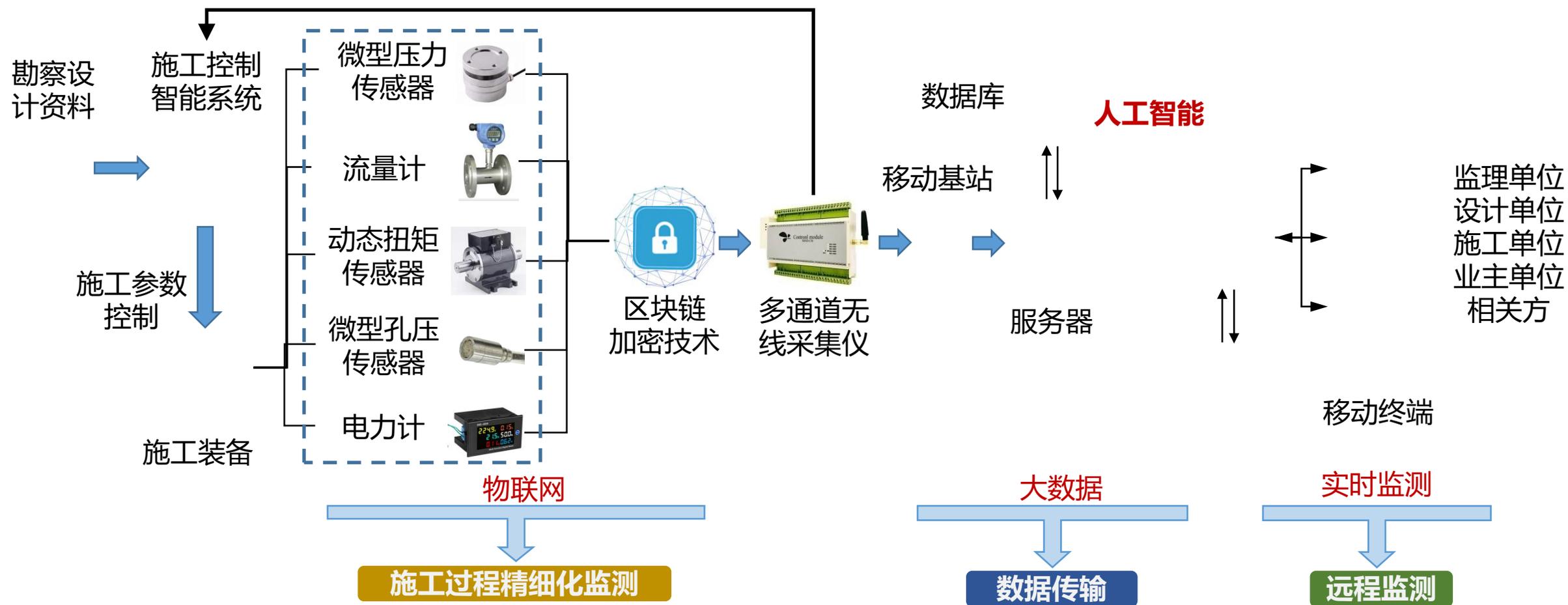
基于人工智能物联网 (AIOT) 的软基处治施工质量检测技术



课题4：软基处治新工艺、新设备研究

□ 研发软基处治**关键指标实时数字化**监控设备和系统

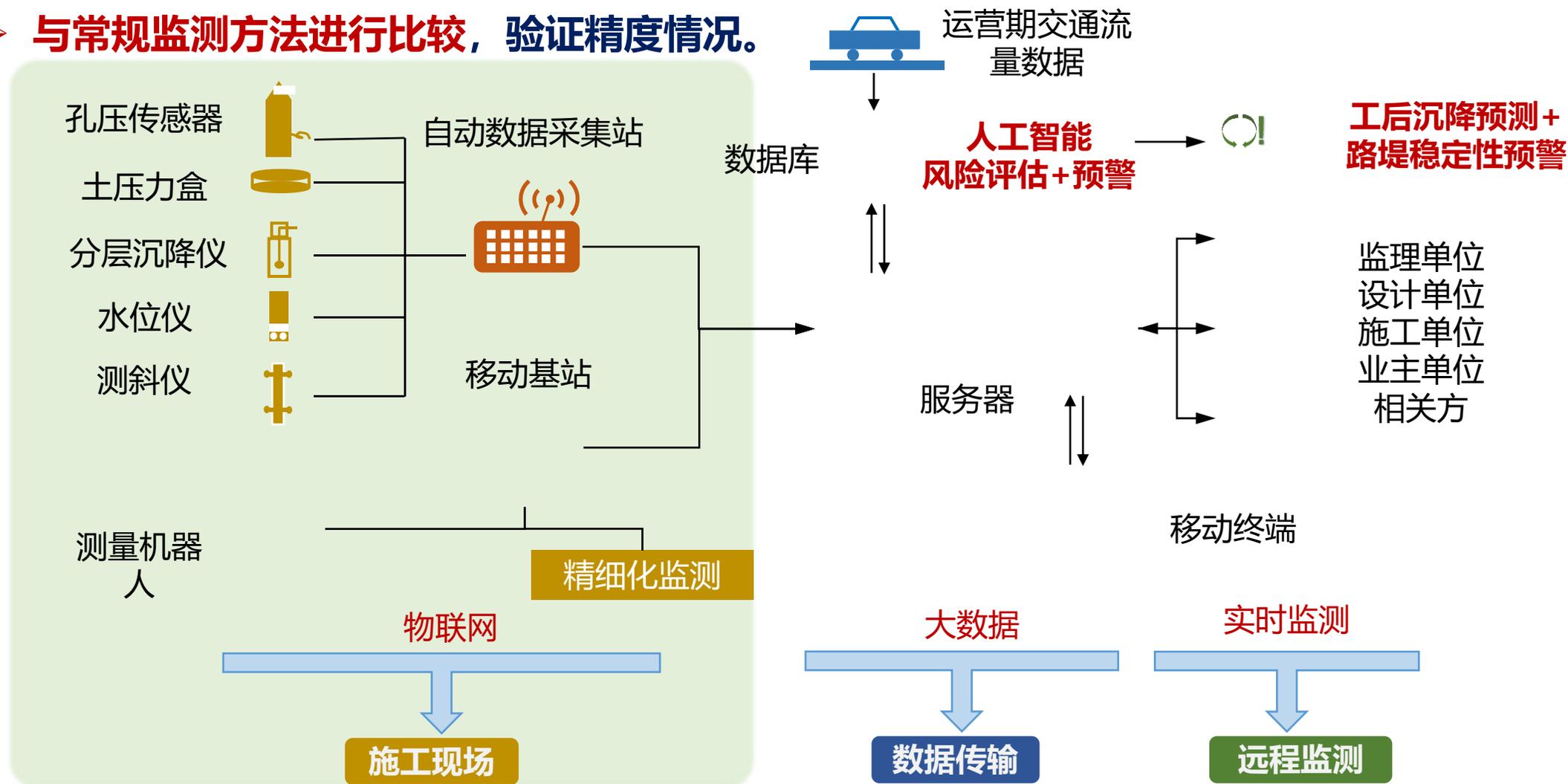
- 根据勘察设计资料，确定不同施工装备的工艺参数，作为系统的初始技术参数
- 通过物联网技术在施工装备关键部位搭载流量计，扭矩计，应力计等传感器对施工过程进行**实时监测**
- 根据实时监测结果，利用开发的智能系统对施工技术参数进行**动态调整**



课题5：软基处治全过程智能监测技术研究

全过程智能监测技术和系统研发

- 利用物联网、大数据、人工智能等技术手段，研发具备全过程信息采集、数据分析、实时监控和预警功能的智能监测系统。
- 与常规监测方法进行比较，验证精度情况。



3.2 依托工程

□ **甬台温高速公路改扩建工程（温州北白象至南白象段）**：项目起于北白象枢纽与大桥北互通复合枢纽，终点位于南白象枢纽北侧，路线全长14.783km。**主线软土路基长度约3.7km**；一般路段填高在2-4m之间，局部路段超过4.0m，最大达到4.5m；桥头路段填高大部分在3-4.5m之间，个别桥头超过5.0m。

软基概况

- 软基分布不均，软基深度在5-30m，最深处位于山间海积平原区，软基**厚度25~30m**，下伏地层以冲（湖）积土层和海积土层互层；工程性质差。
- **天然含水量60%~70%、孔隙比1.435~1.956**、物理力学性质差。

拟开展研究

- **桩板式路堤、EPS块体轻质路堤结合水泥搅拌桩改扩建沉降协调技术研究**
- **人工硬壳层组合复合地基技术研究**

3.2 依托工程

□ **甬台温高速公路改扩建工程（温州湖雾镇至南塘枢纽段）**：起点位于清江服务区，终点接甬台温复线南塘枢纽，全长23.197km。主线软土路基长度约4.5km，为双侧拼宽路段，软基深度25-38m，以②1淤泥，②3淤泥质粘土为主，下覆③2粘土层。一般路段路基填高2-4m，部分路段有5m，桥头路段填高3-5m，局部有6m。

软基概况

- 本项目软土主要为滨海相沉积的灰色淤泥质土，软土层厚度一般为**28-30m**，中下部为冲积灰色中密圆砾、卵石和海积灰色粘土互层。
- **天然含水量50%~60%、孔隙比1.37~1.65、物理力学性质差。**

拟开展研究

- **高强加筋褥垫层桩承式路堤改扩建沉降协调技术研究**
- **轻质路堤过渡技术**

3.2 依托工程

□ **甬台温高速公路复线瑞安联络线工程**：项目起于甬台温高速公路复线，终点位于瑞安湖岭镇，路线全长37.2km。主线路基长度约3.1km，无软基路段；全线设7处互通，匝道路基长度共约15.1km，其中软基路段长约9.5km；地面道路长7.5km，均为软基路段。

软基概况

- **软基厚度**起点滨海区30.0~50.0m,下伏地层仍以海相地层为主；飞云江两岸20~40m,下伏巨厚卵砾石层；工程性质差。
- **天然含水量**67%~69%、**孔隙比**1.925~1.941、**物理力学性质**差。

拟开展研究

- **EPS超轻质路堤结合浅层加固处理研究**
- **轻质路堤过渡等过渡控制技术**
- **研发大直径增强型水泥搅拌桩施工装备**

3.2 依托工程

- **苍南至泰顺高速公路**：项目苍南县沿浦镇，终点位于泰顺县罗阳镇，路线全长99.12km。主线路基长度约15.72km，软基路段长约0.41km；全线设11处互通，匝道路基长度共约24.6km，其中软基路段长约5.23km。

软基概况

- **软基厚度**起点海积平原区4~35m,下伏地层仍以海积、冲积地层为主，海相黏土软塑~可塑状，工程性质差。
- **天然含水量**44%~66%、**孔隙比**1.74~1.883、**物理力学性质**差。

拟开展研究

- **桩筏基础研究**
- **刚性板过渡等过渡控制技术**

3.3 进度安排

本项目计划研究期限为3年，2022年09月~2025年12月。

| 年度/季度 | 计划进度安排及目标要求 |
|-----------------|---|
| 2022.9-2022.12 | 开展广泛深入的文献资料搜集，编制详细的课题研究大纲，组织课题大纲评审，根据专家组意见修改完善大纲。 |
| 2023.1-2023.3 | 开展子课题1软基处治技术分析总结与效果评价研究。 |
| 2023.4-2023.6 | 部分完成子课题1软基处治技术分析总结与效果评价研究，编制浙江省公路典型工程成功与失败经验调研总结报告； 开展子课题2软基处治理理论分析研究； 开展子课题3软基处治勘察设计新技术、新方法研究； 开展子课题4软基处治新工艺、新设备研究； 开展子课题5软基处治全过程智能监测技术研究。 |
| 2023.6-2023.9 | 完成子课题1软基处治技术分析总结与效果评价研究 ，建立我省公路工程软基处治数据库系统与知识图谱； 部分完成子课题2软基处治理理论分析研究，得到改进复合地基及下卧层沉降计算方法、精细化数值分析和沉降计算方法。 |
| 2023.10-2023.12 | 完成子课题2软基处治理理论分析研究 ，得到基于行车舒适性的沉降评价方法和沉降控制标准。 |
| 2024.1-2024.3 | 部分完成子课题4软基处治新工艺、新设备研究，提出标准化的施工工艺、流程和施工装备功能要求，研发大直径增强型水泥搅拌桩施工设备。 |

3.3 进度安排

本项目计划研究期限为3年，2022年09月~2025年12月。

| 年度/季度 | 计划进度安排及目标要求 |
|-----------------|--|
| 2024.4-2024.6 | 部分完成子课题3软基处治勘察设计新技术、新方法研究； 部分完成子课题5软基处治全过程智能监测技术研究，提出适用于施工阶段的沉降控制指标和施工阶段对工后沉降的动态预测方法。 |
| 2024.6.30 | 组织课题中期评审。 |
| 2024.7-2024.9 | 部分完成子课题3软基处治勘察设计新技术、新方法研究，研发软土数字化智能勘察技术。 |
| 2024.10-2024.12 | 部分完成子课题3软基处治勘察设计新技术、新方法研究，研发基于新老路基沉降协调的软基处治技术方案； 部分完成子课题4软基处治新工艺、新设备研究，研发具备施工过程关键指标实时信息反馈的数字化监控硬件设备； 完成子课题5软基处治全过程智能监测技术研究 ，研发沉降智能监测系统。 |
| 2025.1-2025.3 | 完成子课题4软基处治新工艺、新设备研究 ，研发具备施工过程关键指标实时信息反馈的软件系统。 |
| 2025.4-2025.6 | 编制相关标准指南，发表相关研究成果（论文专利工法软著等）； 完成子课题3软基处治勘察设计新技术、新方法研究 ，研发超软土地基处理成套技术体系、新型桩承式路堤加筋褥垫层处理技术。 |
| 2026.1-2026.3 | 组织课题验收（鉴定）。 |

谢谢!

敬请批评指正!



浙江数智交院科技股份有限公司

温州交发大桥有限公司



浙江工业大学



浙江大学



浙江交工集团股份有限公司



浙江浙交检测技术有限公司