



致同科技
ZHI TONG SCIENCE AND TECHNOLOGY

公路废弃泥浆与不良土 资源化利用技术及应用

同济大学交通科学与技术研究院
湖南致同工程科技有限公司

汇报人：陈小刚 联系电话：17507413265

——湖南致同工程科技有限公司工程总监

目录CONTENT

- 01 致同科技公司介绍
- 02 项目背景
- 03 固化土技术成果介绍
- 04 固化土应用场景
- 05 典范示范工程案例
- 06 经济效益
- 07 总结

一、致同科技公司介绍

HUNAN HIGHWAY & TRANSPORTATION SOCIETY

1.2 相关知识产权成果

成果类型	名称	成果类型	名称
发明专利	一种发泡固化土制备方法和使用方法	实用新型	一种浮动油封
发明专利	一种改善固化膨胀土收缩性能的固废基土壤固化剂及其制备方法	实用新型	一种自动进料制备流态固化土的生产设备
发明专利	流态固化土免破碎半接触分级搅拌机及移动式搅拌设备	论文	土壤稳定材料的固化机理研究
发明专利	一种建筑施工用砂石筛分装置	论文	单掺与复掺有机、无机絮凝剂对泥浆脱水效率的影响规律及机理研究
发明专利	一种基于SAP负载微生物诱导碳酸钙沉淀（MICP）的生态自修复型固化土及其制备方法和使用方法	技术指南	《流态固化土工程应用技术指南》
发明专利	一种具备渗水与净水功能的生态固化土及其制备与使用方法	技术指南	《软土地基原位固化工程应用技术指南》
		技术标准	湖南省地方标准《流态固化土工程应用技术规范》
		技术标准	中国建筑行业标准《流态固化土应用技术规范》



湖南省公路学会
HUNAN HIGHWAY & TRANSPORTATION SOCIETY

二、项目背景

2.1

响应国家与行业政策



《中共中央 国务院关于全面推进美丽中国建设的意见》：

二十届三中全会决定提出，聚焦建设美丽中国，加快经济社会发展全面绿色转型，健全生态环境治理体系，推进生态优先、节约集约、绿色低碳发展，促进人与自然和谐共生。



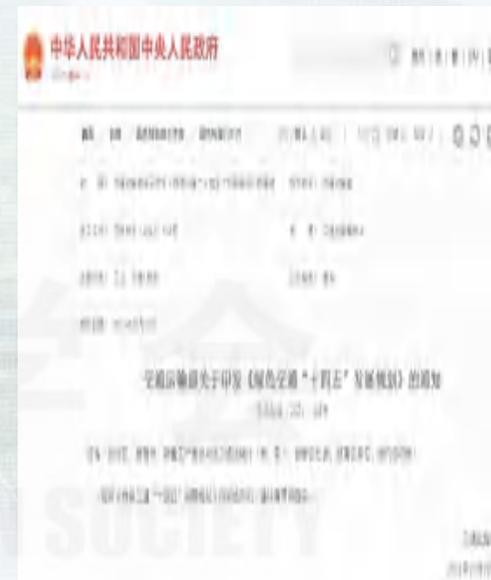
《交通强国建设纲要》：

- 绿色发展节约集约、低碳环保。推广施工材料、废旧材料再生和综合利用，推进交通资源循环利用产业发展。
- 强化节能减排和污染防治。
- 强化交通生态环境保护修复。



《中共中央 国务院关于加快经济社会发展全面绿色转型的意见》：

建设绿色交通基础设施。提升新建车站、机场、码头、高速公路设施绿色化智能化水平。



《绿色交通“十四五”发展规划》：

深化绿色公路建设。鼓励施工材料、工艺和技术创新，促进资源集约利用、生态保护及污染防治。**推动公路路面材料、工业固废、弃渣循环利用，全面提高资源利用效率。**

2.2 解决工程建设废弃泥浆与不良土处置难题



公路建设中遇到病害土不良土如：淤泥、粉土、高液限黏土、强风化全风化的软块石、湿陷性黄土、膨胀土等，传统换填的处置方式存在**征地费用高、易造成地质灾害、水土流失、环境污染**等问题

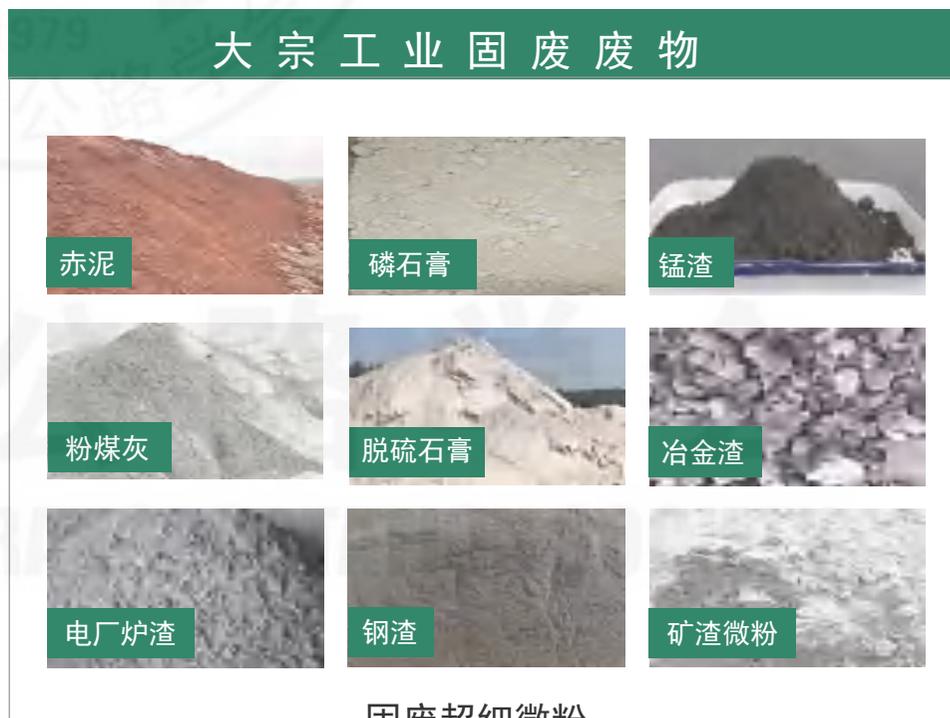
工程废弃泥浆通常采用自然晾干、再填埋的处置方式，存在**效率低、费用高、环境污染严重、运输不安全、难以就地利用**等诸多问题。

2.3

消纳工业固废

年产各类固废100亿吨 堆存量超过1000亿吨

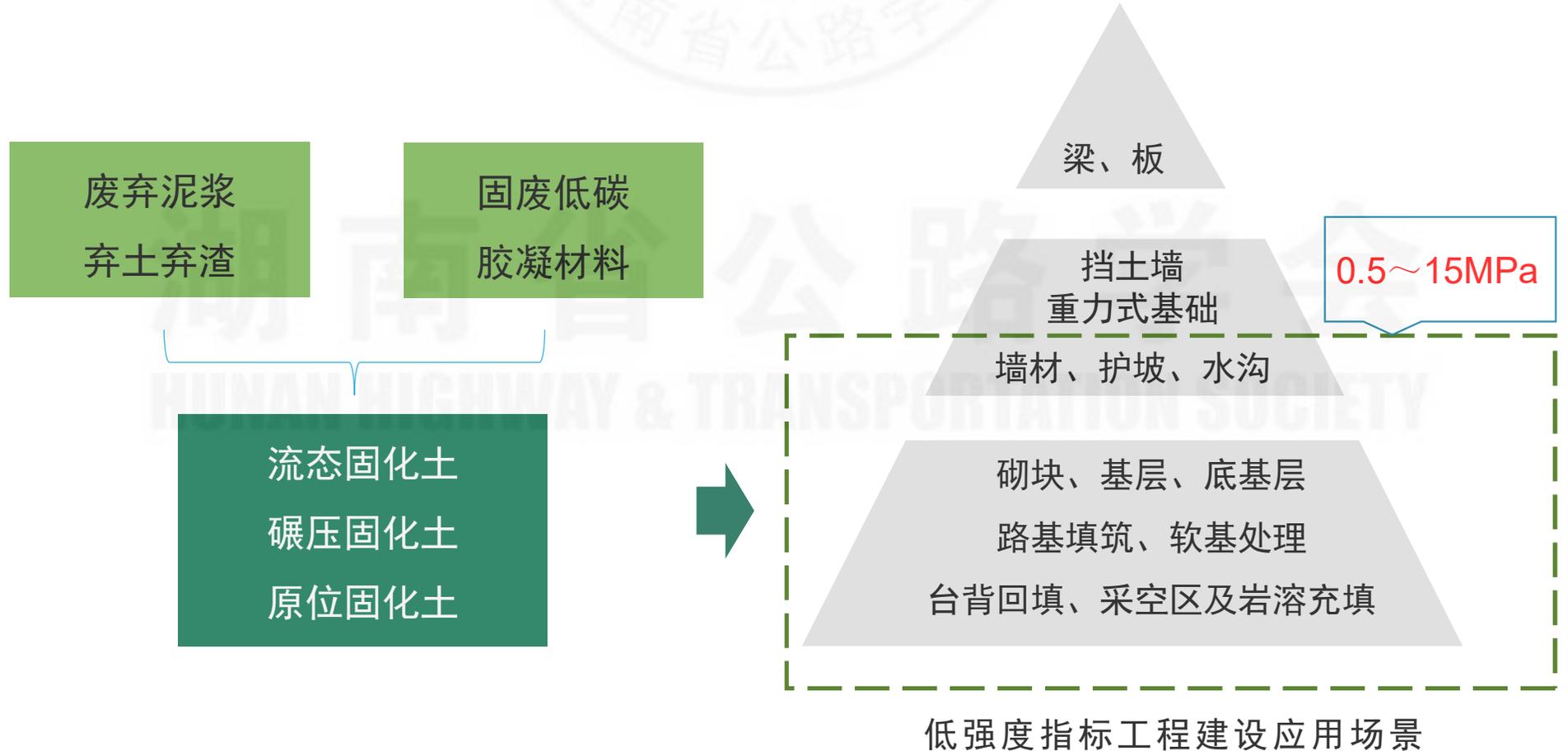
“去年11月发布的《(中华人民共和国固体废物污染环境防治法)实施情况的报告》(下称《报告》)显示,我国每年产生畜禽养殖废弃物近40亿吨,主要农作物秸秆约10亿吨,一般工业固体废物约33亿吨,工业危险废物约4000万吨,医疗废物约135万吨,建筑垃圾约18亿吨,大中城市生活垃圾约2亿吨。



大宗工业固废有粉煤灰、煤矸石、冶炼废渣、炉渣、脱硫石膏、磷石膏、赤泥等,我国历年堆存的工业固体废物总量达600亿至700亿吨, **对环境和安全影响非常大,但有效资源化利用率较低。**

2.4 项目目标及解决路径

基于“以废治废”的理念，实现废弃资源循环利用，推动绿色低碳工程建设



三、固化土技术成果介绍

HUNAN HIGHWAY & TRANSPORTATION SOCIETY

专家团队



孙振平，同济大学教授、博士生导师，担任土木工程材料系主任及先进土木工程材料教育部重点实验室副主任。



章照宏，同济大学交通科学与技术研究院副院长，在交通领域有着深厚的积淀，长期负责高速公路建设管理工作。



袁铜森，致同科技总工程师，先后主持和参与重大科研课题8项，主持编制交通行业地方标准1项，荣获教育部科技进步奖、中国公路学会科学技术奖、中国交通运输协会科学技术奖多项。

3.1 高性能固化剂

HUNAN HIGHWAY & TRANSPORTATION SOCIETY

3.1.1

高性能固废基固化剂产品

致同科技联合同济大学材料工程学院，建立研发中心，因地制宜，综合利用当地多种工矿业尾渣，研发出多种高性能固化剂，并与专业厂家联合生产，建立健全了广泛的销售网络。



表 3-4 固化剂性能指标测试表

序号	指标	规定值或允许偏差	实测值
1	细度(80um 筛余量), %	≤10	1.7
2	含水率, %	≤1	0.1
3	净浆流动度, mm	初始	≥100
4		30min	≥90
5		60min	≥80
7	初凝时间, min	≥45	307

ztkj-ws-1型固化剂

针对黏土有良好的分散固结作用。

ztkj-ws-2型固化剂

针对砂性土有良好的固结作用。

ztkj-ws-3型固化剂

对黏土、淤泥和砂性土均有良好的固结作用



3.1.2 环保检测

浸出毒性检测

根据固化土去向与用途，需选择适当的方法和标准对固化土进行浸出毒性检测评估。我司对研制的固化剂进行送检，浸出毒性检测结果符合《固体废物浸出毒性浸出方法硫酸硝酸法》(HJ/T299)、《固体废物浸出毒性浸出方法水平振荡法》(HJ 557)、《地表水环增质量标准》(GB 3838)等相关标准要求。

固废基固化剂主要污染物指标检测结果

单位: mg/L

序号	主要污染物指标	浸出液中危害成分浓度限值	固废基固化剂检测结果
1	汞(以总汞计)	0.05	<0.00005
2	镉(以总镉计)	0.1	0.003
3	铅(以总铅计)	1.0	<0.05
4	砷(以总砷计)	0.5	<0.0001
5	总铬	1.5	0.11
6	铬(六价铬)	0.5	未检出
7	镍(以总镍计)	1.0	未检出
8	铜(以总铜计)	1.0	<0.01
9	锌(以总锌计)	5.0	<0.006
10	无机氟化物(不包括氟化钙)	10	未检出
11	氰化物(以 CN 计)	0.5	未检出

3.1.3

固化土耐久性研究

由同济大学材料科学与工程学院土木工程材料系牵头，以桂新高速公路废弃泥浆和废弃土为基料，采用致同科技研发的ztkj-ws-3型固化剂，拌制成流态固化土，并对固化土的耐久性开展了专题研究，形成《基于ztkj-ws-3型固化剂的固化土体耐久性研究报告》。包括长期强度增长率、抗干湿循环能力、抗硫酸盐侵蚀能力、抗干缩变形能力等四个方面。



提高固化土长期强度增长率

	56d强度 增长率/%	90d强度 增长率/%
水泥 固化土	13.2-16.7	21.0-30.5
固化剂 固化土	18.4-23.1	26.8-46.0

提高固化土抗干湿循环能力

	10次干湿循环 强度保留率/%	15次干湿循环 强度保留率/%
素土	50	25
水泥固 化土	89-108	72-96
固化剂 固化土	100-109	90-100

3.1.4 固化土耐久性研究

提高固化土抗硫酸盐侵蚀能力

提高固化土抗干缩能力

	14d硫酸盐浸泡浸泡强度保留率/%	28d硫酸盐浸泡浸泡强度保留率/%		14d干燥收缩率/%	28d干燥收缩率/%
素土	0	0	素土	3	12
水泥固化土	78-100	33-77	水泥固化土	0.09-0.77	0.15-1.66
固化剂固化土	100-120	119-134	固化剂固化土	0.10-0.33	0.15-1.43

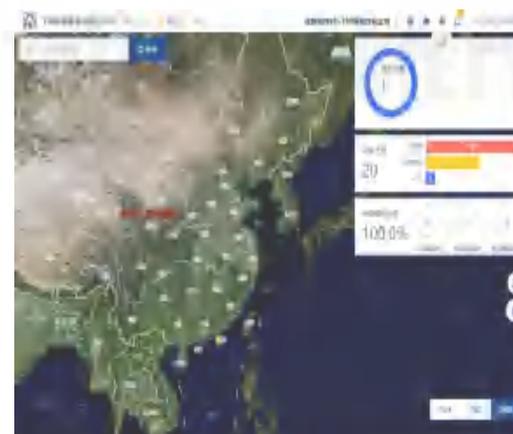
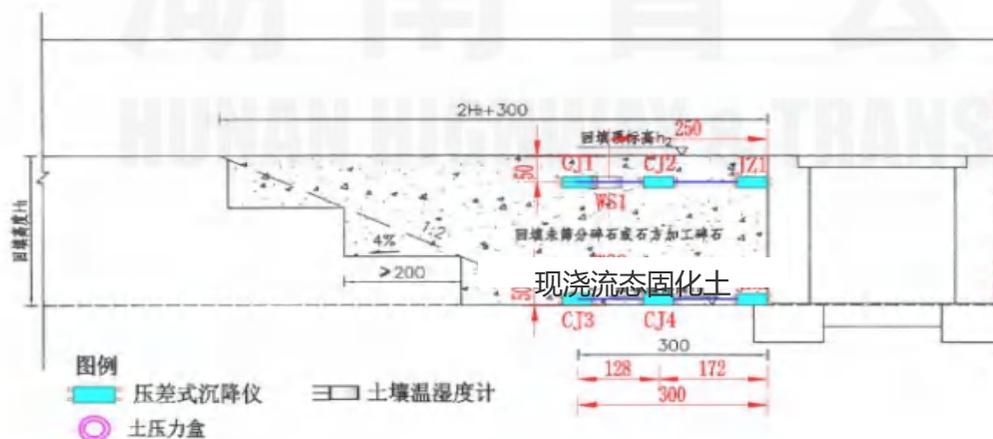
研究结论:

- ◆ ztkj-ws-3型固化剂作为固废基材料，通过优化配比将水泥及固废反应活性充分激发，在相同掺量下成型的固化土试件强度与P.O. 42.5硅酸盐水泥相近，但结构更稳定。
- ◆ 与水泥固化土相比，基于 ztkj-ws-3型固化剂的固化土体其抗干湿循环破坏能力、抗硫酸盐侵蚀、干燥收缩率等耐久性指标表现更优越，可适用于基础设施建设领域的多种场景，在满足施工需求的同时大大降低了综合成本，具有良好的应用前景。

3.1.5

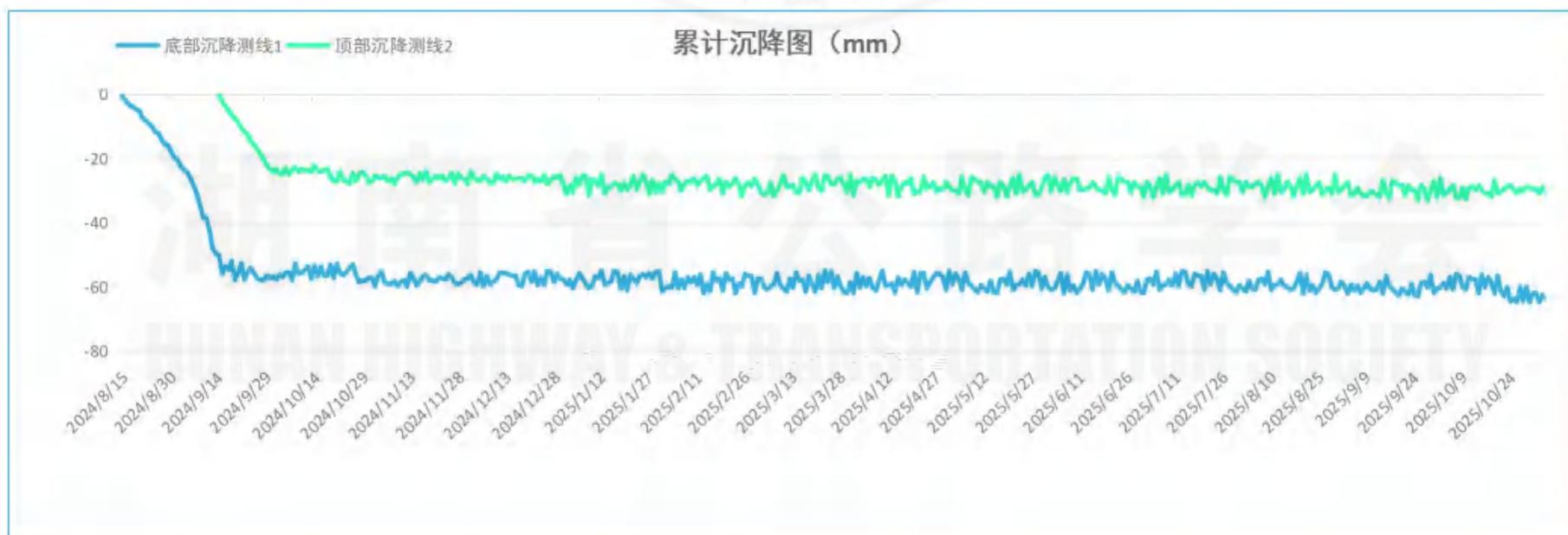
固化土长期路用性能监测

测项	采用设备仪器	测点统计	监测部位
台背回填流态固化土沉降	压差式剖面沉降计	6	回填顶面以下 50cm, 回填底标高处。
台背回填流态固化土温度	土壤含水率传感器	4	回填顶面以下 50cm 及回填底面以上 50cm
台背回填流态固化土水平、竖向土压力	智能弦式双模土压力盒	4	回填顶面以下 50cm, 回填底标高处, 回填高度中部。



路用性能自动化长期监测系统

◆ 固化土体沉降变形

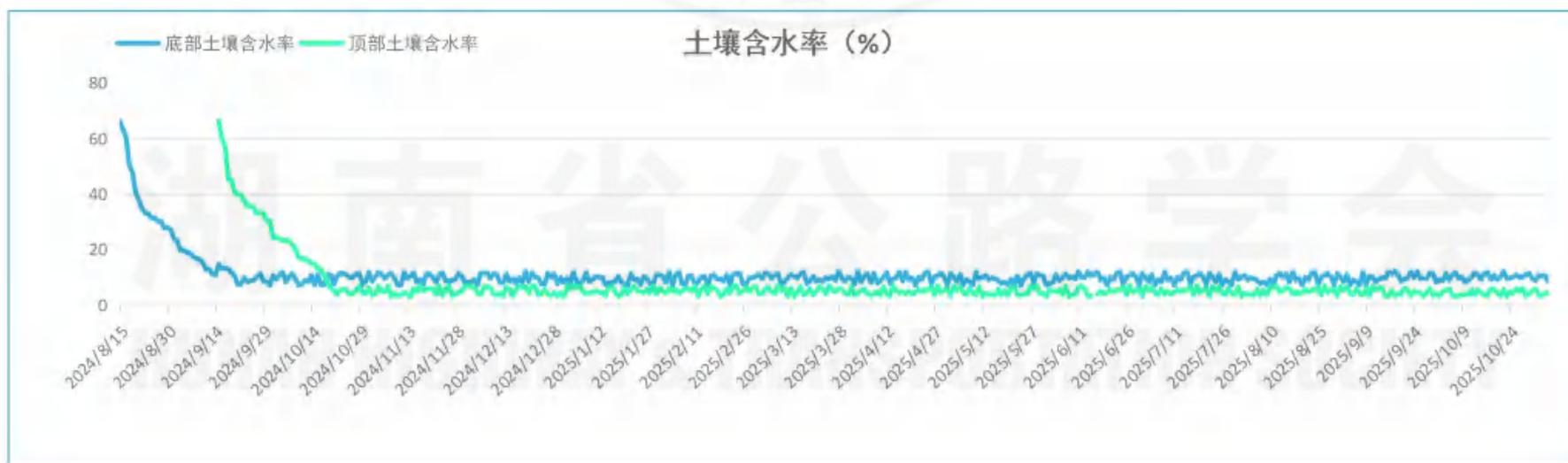


监测数据表明，回填施工结束后，荷载趋于稳定，沉降曲线变得平顺，只有细微的变化，说明固化土体的稳定性比较好，工后沉降变形量很小。



- ◆ **侧向压力** 流态固化土初凝前会对涵洞墙身产生一定的侧压力，凝结固化后，自成一个整体，对墙身的侧压力基本为零，据此可以考虑对结构物墙身进行优化设计，节省工程造价。
- ◆ **竖向压力** 由于流态固化土自身容重不高，远小于传统的碎石回填的自重，因此产生的竖向压力也相对较小，相对而言，可以降低对台背基底的承载力要求，节约基底处治成本。

◆ 路基固化土体含水率



测点设置在回填底部和回填顶面以下50公分，随着水化作用的进行，土体含水率逐渐下降。固化完成后，含水率趋于稳定，即使经历暴雨和暴晒，监测点的含水率并没有特别大的变化，表明回填固化土体内干湿状态比较稳定，有利于整体结构强度长期稳定。同时，间接说明固化土抗渗性能较好，对地下水侵扰和雨水的渗透均有良好的抵抗作用。

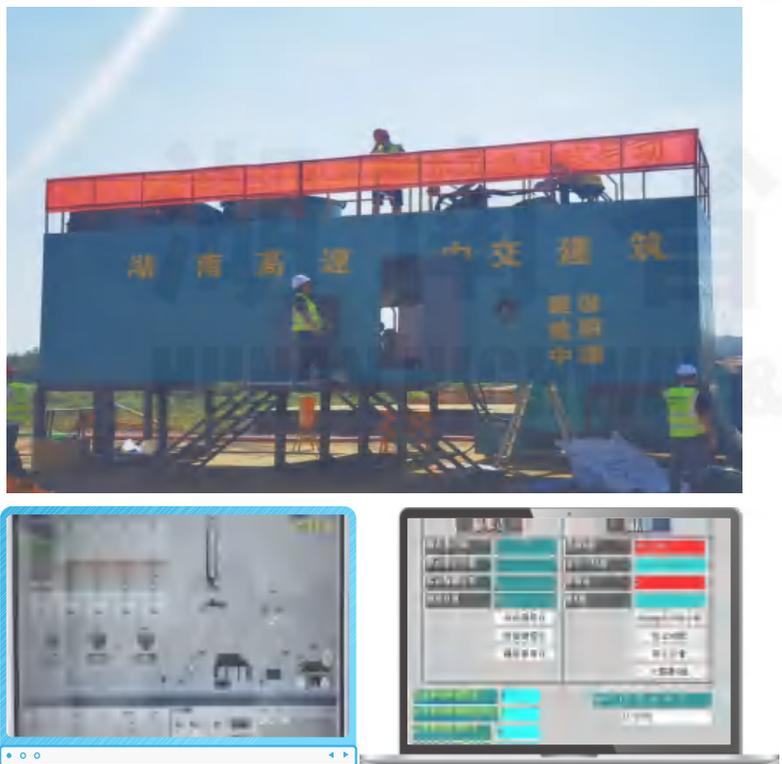


3.2 固化土设备

HUNAN HIGHWAY & TRANSPORTATION SOCIETY

3.2.1 数控施工装备

致同科技联合中南大学机械工程学院，研制了国内首创的流态固化土系列数控施工装备，包括适用于不同场景的一体化拌和站和移动式搅拌站，进行了工程化验证，并联合专业厂家进行设备制造。



一体化拌和站

优势与特点：

◆ 工程适用性强

适用于工点集中、施工方量大的场景，20厘米以下的石块也不影响搅拌。

◆ 质量精准可控

精准计量各种掺和料的重量，固化土浆料施工配合比可控。

◆ 数字化、自动化程度高

集自动上料、电子秤量、高速搅拌、自动泵送的功能于一体。

◆ 高速半接触涡流搅拌机，转速可达500转/分钟，充分分散泥土颗粒，产能每小时50m³。

3.2.2 数控施工装备

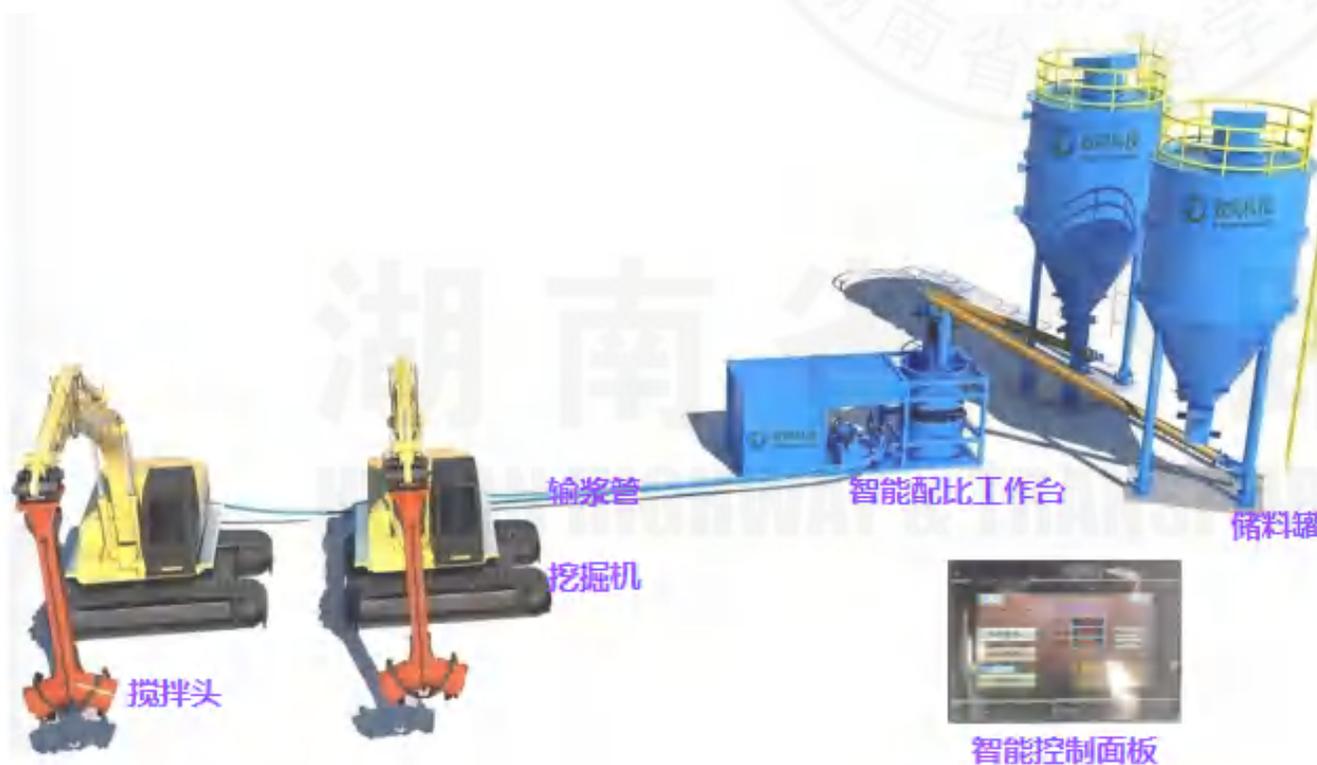
移动式搅拌站



优势与特点:

- ◆ 工程适用性强
适用于场区道路复杂、工点分散、需频繁转场的场景，20厘米以下的石块均可搅拌。
- ◆ 质量精准可控
精准计量各种掺和料的重量，固化土浆料施工配合比可控。
- ◆ 数字化、自动化程度高
集电子秤量、高速搅拌、自动泵送的功能于一体。
- ◆ 高速半接触涡流搅拌机，扭矩8000-10000NM，充分分散泥土颗粒，产能每小时60m³。

3.2.3 原位固化施工装备



优势与特点:

- ◆ 强力搅拌头强力设备质量稳定可靠，很好地满足了国内高强度、高复杂性的工作；可以满足24小时不停机连续作业。
- ◆ 独特的形设计，确保了较硬地质时更好入土。
- ◆ 双向旋转功能，可以实现插入和拔出两次混合搅拌作业，确保混合搅拌的良好效果。
- ◆ 自动调速功能，硬泥慢搅，软泥快搅，自动感知，自动调速，提升作业效率。
- ◆ 智能PLC控制系统，根据工况需求，输入相应的参数。系统按照参数设定，自动上料、称重、搅拌制浆、浆剂输送等一系列工作。
- ◆ 一个智能PLC控制系统，可以带2台搅拌头，提高作业效率。
- ◆ 采用高压输送泥浆泵，最大输送距离可达400米，减少固化剂粉罐的搬迁，提高经济效率。

3.3 固化土数字化管控

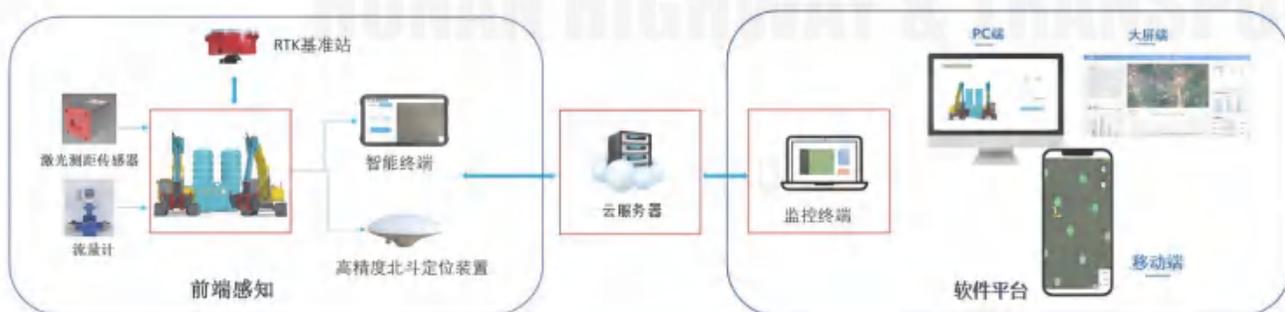
HUNAN HIGHWAY & TRANSPORTATION SOCIETY

3.3.1 数字化管控

国内首创软基固化数字化施工“智慧大脑”

深度融合 **物联网**、**GIS** 与 **大数据** 技术，构建覆盖“人、机、料、法、环”的全流程智能管控体系。

系统架构图



系统界面

3.3.2 数字化管控

平台功能



核心功能模块



3.4 湖南省固化土质量评价体系

HUNAN HIGHWAY & TRANSPORTATION SOCIETY

3.4.1 相关地标、行业标准

目前，固化土应用技术，北京、天津、上海、四川、江苏、浙江等省市以及中国工程建设标准化协会等团体相继出台了地方标准或团体标准。

固化剂材料方面有住建部颁布的《软土固化剂》与《土壤固化外加剂》行业标准。



3.4.3

企业标准编制



湖南省高速公路集团有限公司牵头，致同科技作为技术支持单位，联合编制并申报湖南高速集团企业标准《软土地基原位固化工程应用技术指南》、《流态固化土工程应用技术指南》，预计2025年底颁布。



目次

1 适用范围	1
2 规范性引用文件	3
2.1 设计与施工技术规范	3
2.2 材料标准	3
2.3 试验方法与规程	3
3 术语和定义	2
4 原位固化材料	2
4.1 一般规定	2
4.2 原材料技术要求	3
5 原位固化设计	4
5.1 一般规定	4
5.2 技术要求	4
5.3 配合比设计	6
5.4 设计计算	6
5.5 监测设计	6
6 原位固化施工	7
6.1 施工准备	7
6.2 施工工艺	8
6.3 软基沉降与稳定性动态监测	12
7 质量控制与验收	12
7.1 基本要求	13
7.2 验收文件和记录	13
7.3 质量验收实测项目	13
7.4 外观质量	14
8 附录	15
8.1 验收表格	15
8.2 施工记录表格	16



前言

为规范指导高速公路软土地基原位固化施工，特制定本规范。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》的有关规定编制。

本文件是在综合相关研究成果以及工程施工经验的基础上编制，由湖南省高速公路集团有限公司提出。

本文件共分3章，主要内容包括：范围、规范性引用文件、术语和定义、材料、设计、工艺、质量控制和验收、附录等。

本文件由湖南省高速公路集团有限公司归口负责解释。

本文件起草单位：湖南省高速公路集团有限公司、湖南省交通规划勘察设计集团有限公司、湖南省高速公路建设开发有限公司、湖南省高速公路工程咨询有限公司、湖南省高速公路设计咨询有限公司、湖南大学交通科学与工程学院、湖南致同工程技术有限公司。

本文件主要起草人：周晓梁、唐宇欣、彭杰、冯宇、郭一林、黄野、彭剑、杨健康、张东兴、文浩雄、高定、王玉臣、罗志、王云、李彪、王光群、王增一、吴杰、黎强、廖念堂、陈先、陈法林、周伟斌、付建林、汪洋、毛明、向兆立、覃敏定、黄国森、特丹、林晓章、陈小林、毛毅民、尹宗博、陈卫平、郑阳、岳川。

四、固化土应用场景

HUNAN HIGHWAY & TRANSPORTATION SOCIETY

4.1 工程建设应用场景——流态固化土

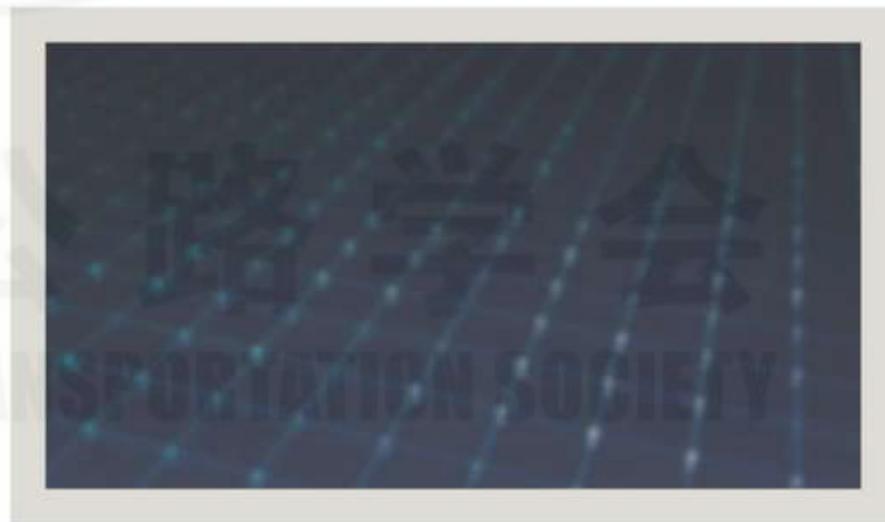
4.1.1 桥涵台背、基坑、管廊及肥槽回填



- 优势：
- 1、浇筑施工、自流平、免振捣自密实，适合狭小空间的填筑；
 - 2、整体自立，固化土体对结构无静水平推力，结构更安全；
 - 3、稳定性好，工后不均匀沉降量小。

4.1 工程建设应用场景——流态固化土

4.1.2 道路改扩建



道路改扩建工法动画

优势：1、整体自立自稳，加宽填筑采用直立式断面，节约土地；2、材料轻质高强，对地基承载的要求低；3、浇筑施工、自流平并自密实，适用施工条件受限的工点。

4.1 工程建设应用场景——流态固化土

4.1.3 采空区及岩溶的充填



矿山采空区巷道



土洞造成路面塌陷



岩溶地貌地质剖面

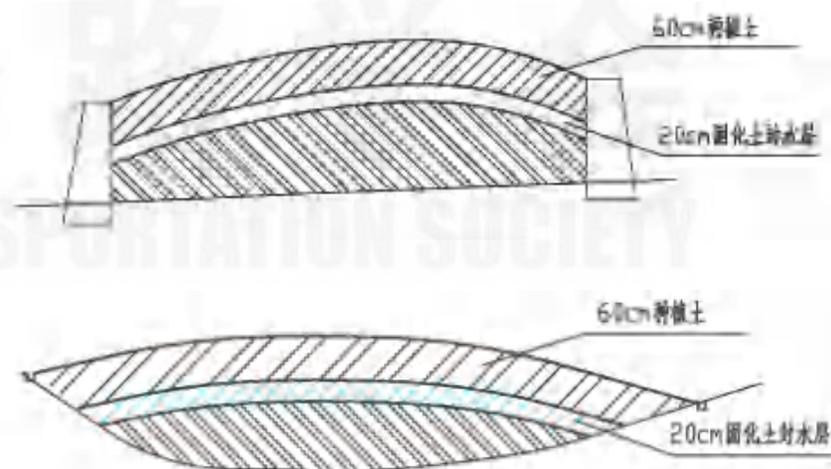


岩溶地质的隧道施工

流态固化土是一种物廉价美的灌注材料，可以就地取材或者利用工程弃土进行加工，用于采空区和岩溶区的空洞回填，起到强化土层、充填洞穴和岩溶洞隙、隔断地下水流通道的作用。

4.1 工程建设应用场景——流态固化土

4.1.4 弃土场改造与升级



综合利用流态固化土、碾压固化土、种植土技术，用于弃土场的表层覆盖土、边坡防护和绿化，既能防止水土流失、降低沉陷滑坡风险，又能恢复生态环境，还可建设打造文旅项目工程或者开发工业用地。

4.2 工程建设应用场景——碾压固化土

◆ 碾压固化土



碾压固化土能够将各种土颗粒固化胶结成为整体，具备抗压、耐久、抗分散等路用性能，根据基料类型以及工程需求，选择合适的固化剂材料和施工工艺，应用于路床、底基层和施工便道的填筑。

4.3 工程建设应用场景——原位固化土

◆ 软土地基处治



原位固化，向软土中添加软土固化剂，采用专用深层搅拌头，将土颗粒胶结、掺合并包裹，形成整体性较好的固化体。

鱼塘、农田等软土原位固化



通过原位固化技术，大幅提升通道、圆管涵、挡土墙等小型构造物地基承载力，形成整体性较好的固结体，使其满足设计要求。

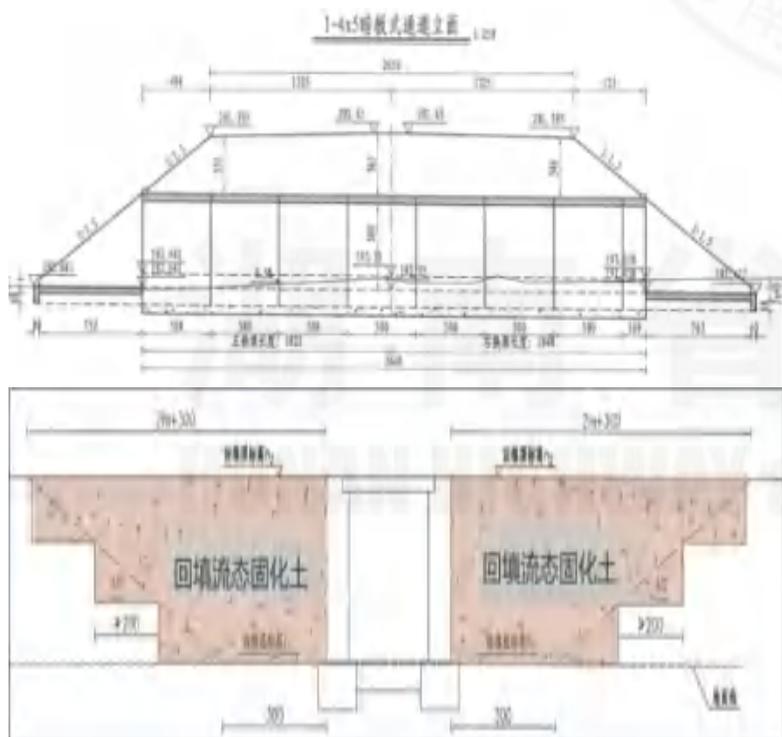
构造物地基处理

五、典范示范工程案例

5.1

工程案例之一

5.1.1 工程概况



通道长**36.69**米
基础宽度**7.1**米
基础高**1.0**米
通道净高**4.2**米
净跨**4.0**米
盖板厚度**45**cm
顶填土高度**3.65**米
设计强度**0.8**MPa

桂新高速1标K8+330.00钢筋混凝土暗板式通道

——全国高速公路首例流态固化土台背回填

5.1

工程案例之一

5.1.2 施工作业工法——质量验收检测



序号	取样位置	芯样抗压强度 (MPa)
1	1#台背左幅	1.17
2	1#台背中间	1.02
3	1#台背右幅	1.66
4	0#台背左幅	1.52
5	0#台背中幅	0.93
6	0#台背右幅	1.01

质量验收检测结论:

◆ 钻芯取样检测

芯样抗压强度平均值**1.22MPa**，符合设计要求 (**>0.8MPa**)，且芯样完整性良好。

◆ 现场弯沉测试

实测弯沉代表值**44.0(0.01mm)**，远小于容许弯沉值**151.3(0.01mm)**。

5.2 工程案例之二



飞行区助航灯光、站坪照明及排水管道肥槽流态固化土回填，7天无侧限抗压强度达到0.8MPa以上。

太原武宿国际机场T3改扩建项目

——全国机场首例流态固化土肥槽回填



软基原位固化工后检测结果：

28d无侧限抗压强度
(q_u)： $\geq 2.0 \text{ MPa}$ ；
7d地基承载力特征值
(f_{ak})： $\geq 300 \text{ kPa}$ 。

开窗检查，固化土体
板结良好，强度高；

钻芯检测，芯样完整，
搅拌均匀。

G4京港澳高速株耒段改扩建项目软基原位固化
——湖南省内高速公路首例



湖南省公路学会
六、经济效益
HUNAN HIGHWAY & TRANSPORTATION SOCIETY

6.1 工程经济性分析

经济效益良好，包括直接经济效益和间接间接经济效益两个方面：

◆ 直接经济效益

固化土用于台背回填、构筑物回填、肥槽回填施工及软基换填施工，与传统的泡沫轻质土、碎石填筑及碎石换填等其它材料施工相比**具有较大的成本优势，可降低总成本10%—30%之间。**

◆ 间接经济效益

01 方面

通过资源化利用废弃泥浆与工程弃土，解决废弃泥浆和工程弃土处置难题，而**节省的处置费用**

02 方面

通过资源化利用废弃泥浆、工程弃土以及工业废渣可消除其生态环境污染隐患，**节省生态环境污染治理费用**

03 方面

与传统施工工艺相比，**施工工期可缩短30%左右。**



湖南省公路学会

七、总结

HUNAN HIGHWAY & TRANSPORTATION SOCIETY

工程质量更稳定

- ◆ 一体化施工设备精准控制固化土拌制质量，自动化设备，减少人为操作。
- ◆ 固化土密实度、均匀性、结构整体性更佳，耐久性良好。

工程经济更显著

- ◆ 与碎石回填台背施工相比/碎石清淤换填，可降低工程造价
- ◆ 节约：减少砂石地材开采量，节约弃土场用地。

工程建设更环保

- ◆ 环保：降低废弃泥浆、废弃土、工业废渣等固废环境污染风险
- ◆ 利废低碳：提高废弃泥浆、废弃土、工业废渣资源化利用率，减少水泥用量。

工程施工更高效

与传统采用碎石等材料换填、回填相比，施工工期可缩短30%左右，提高施工效率。

工程结构更安全

- ◆ 固化土整体性好，对结构物墙身的侧压力基本为零，更利于工程结构安全。
- ◆ 自重较轻，可以降低对台背基底的承载力要求，可节约基底处治成本。

相较于传统施工工艺的五大优势



我们渴望与您携手，
共绘合作新篇章！



HUNAN HIGHWAY & TRANSPORTATION SOCIETY

让建设更环保！

公司地址：湖南省长沙市天心区湘府西路222号华菱集团商务楼10楼

试验室地址：湖南省长沙市岳麓区学士街道玉莲路32号联东优谷工业园25栋101室

电话：0731-89671011

官网：www.hnztgckj.cn



公众号



视频号



抖音号