

深厚淤泥地层大型陆上沉井 施工关键技术

汇报人：李德杰

中交第二航务工程局有限公司

2021年10月

汇报内容

一、研究背景

二、依托工程概况

三、沉井施工关键技术

四、总结

一. 研究背景

大型沉井在桥梁基础领域得到广泛应用，但已建沉井多在砂质地层，黏土厚度小，尚无深厚淤泥地层建设沉井的先例。



泰州长江大桥中塔
(69m×58m×52.8m)
砂层，无黏性土



南京四桥大桥北锚碇
(69m×58m×52.8m)
黏土厚度**12m**



五峰山大桥北锚碇
(100.7m×72.1m×56m)
黏土厚度**12.7m**



美国格林威尔大桥主塔沉井
(36m×24m×53m)
上覆土27m，黏土厚度**14m**



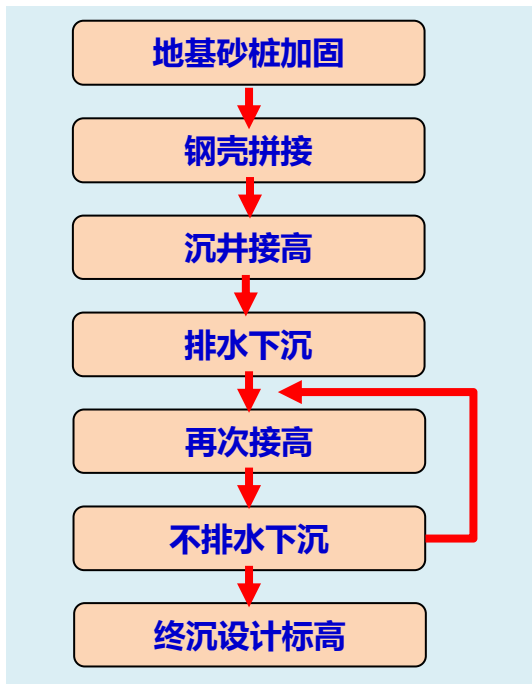
马鞍山大桥南锚碇
(60.2m×55.4m×48m)
黏土厚度**8.5m**



瓯江北口大桥南锚碇
(70.4×63×67.5m)
淤泥厚度**40m**

一. 研究背景

- ❑ 沉井工序：地基加固、钢壳拼接、沉井接高、排水下沉、不排水下沉
- ❑ 依靠沉井自重及端部土体开挖，克服地层侧阻、端阻，下沉至设计标高



沉井施工流程



沉井施工示意

汇报内容

一、研究背景

二、依托工程概况

三、沉井施工关键技术

四、总结

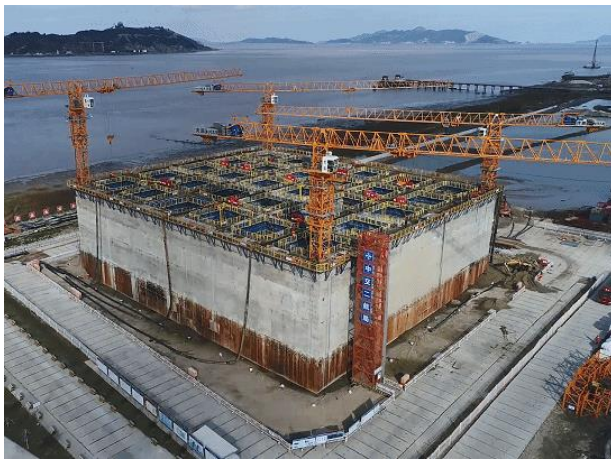
二. 依托工程概况--瓯江北口大桥南锚沉井

➔ 工程简介

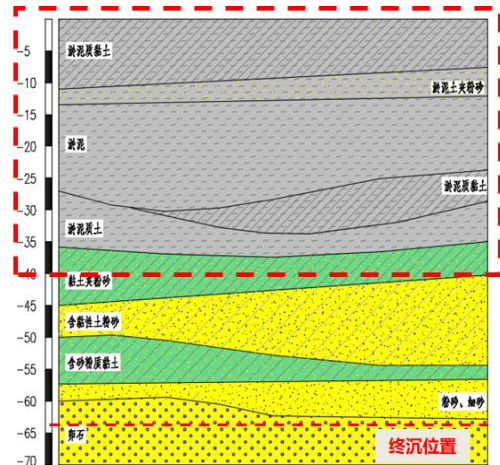
- 甬台温高速公路复线和温州市南金公路两大项目跨越瓯江的控制性工程;
- 国内外首座三塔四跨双层钢桁梁悬索桥, 跨度230+800+800+348m;
- 世界首例深厚淤泥地层(40m)建造的大型沉井 (70.4×63.4×67.5m)。



瓯江北口大桥



南锚碇沉井基础



地质条件

二. 依托工程概况--瓯江北口大桥南锚沉井

➔ 地质条件

- ❑ 高压缩性：含水率47.2-58.5%、孔隙比1.3-1.7，液限指数大于1，流塑状态
- ❑ 高黏结性：塑性指数19.2~26.2，黏度大
- ❑ 高灵敏度：灵敏度平均值达4.97，触变性强

地层分布	天然含水量	孔隙比	液限	塑限	塑性指数	液性指数	地基承载力容许值	侧阻力标准值	粘聚力(直剪快剪)	摩擦角(直剪快剪)
	W (%)	e	W _L (%)	W _p (%)	I _p	I _L	[f ₀] (kPa)	f _s (kPa)	C (kPa)	φ(°)
① ₁ 淤泥	58.5	1.616	50.7	27	23.6	1.05	30	6	7	2.2
② ₁ 淤泥质黏土	47.2	1.312	42.7	23.5	19.2	1.21	55	12	8.8	3.3
② ₂ 淤泥质黏土夹粉砂	49.3	1.372	46.1	25.1	21	1.16	60	15	8.7	3.6
② ₃ 淤泥	59.1	1.669	55.2	29	26.2	1.15	50	10	7.4	2.5
③ ₂ 淤泥质黏土	47.8	1.343	45.4	24.6	20.6	1.12	60	15	13.2	7.1
③ ₃ 黏土	44.5	1.251	46.4	24.9	21	0.91	80	20	17.1	8.3
③ ₃ 黏土夹粉砂	39.5	1.16	43.1	23.7	19.4	0.82	100	25	26.2	8.6
③ ₄ (含黏性土)粉砂	32.0	0.968	36	21.3	14.7	0.93	140	35	15.1	11.5
④ ₂ 含砂粉质黏土	36.7	1.085	40.7	22.8	17.9	0.78	120	30	23.5	9.6
④ ₃ 粉砂(细砂)	19.8	0.644	—	—	—	—	180	45	9	31.7

➔ 关键技术问题

01

考虑固结砂桩加
固技术

- 解决砂桩加固固结周期、荷载分布规律等技术难题；

02

大型沉井开挖下沉
新工艺

- 解决大型沉井支撑转换、开挖工艺、施工控制难题；

03

大型沉井施工快速
调节技术

- 解决大型沉井开裂、难以调节控制问题；

04

深厚黏土地层快速
取土装备

- 解决沉井深厚黏土地层取土效率低的难题；

05

大型沉井施工风险
控制技术

- 解决大型沉井偏位与易于发生难沉问题。

汇报内容

一、研究背景

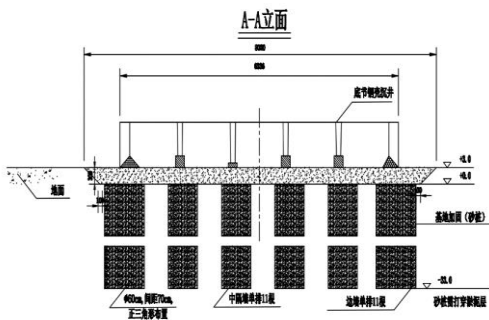
二、依托工程概况

三、沉井施工关键技术

四、总结

□ 沉井砂桩加固面临的关键问题

- ◆ 沉井允许较大沉降——“稳得住、下得去”
- ◆ 大型沉井接高过程与堆载预压地基加固类似
- ◆ 常规项目砂桩置换率15%左右，固结；本项目63%，桩质量差、难成桩、固结效应更强。



沉井砂桩加固



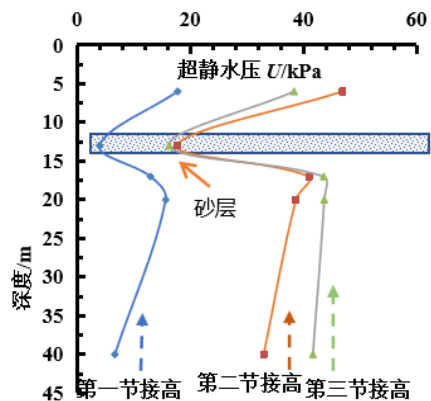
固结后取土难度大



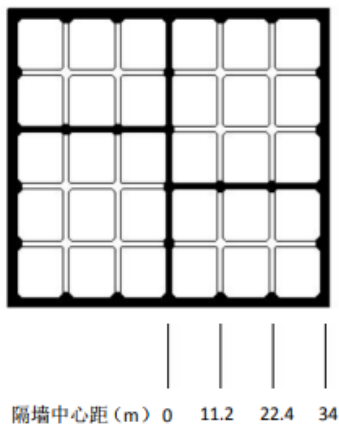
悬空跨度大

□ 沉井附加荷载传递机理及影响深度

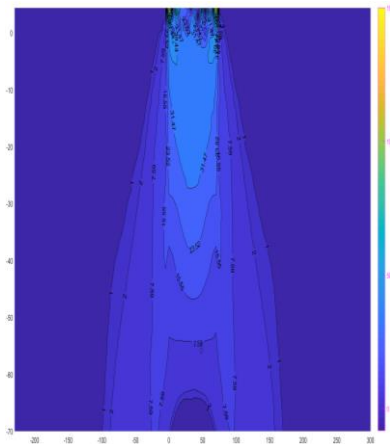
- ◆ 现场孔压试验+理论计算
- ◆ 上部类似于**条形荷载**，下部类似于**大面积堆载**



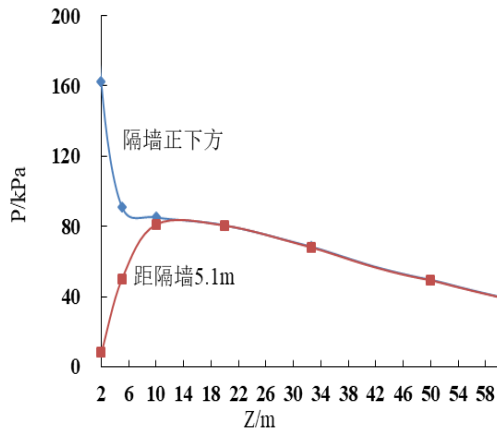
现场试验监测



计算断面

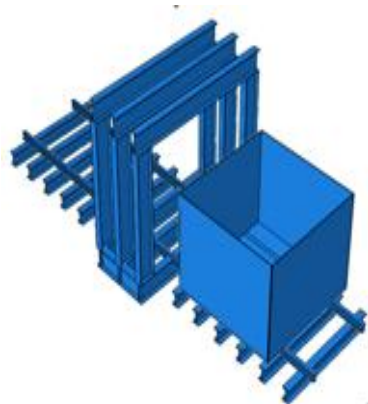


沉井附加荷载分布



考虑固结影响的砂桩复合地基承载力计算方法

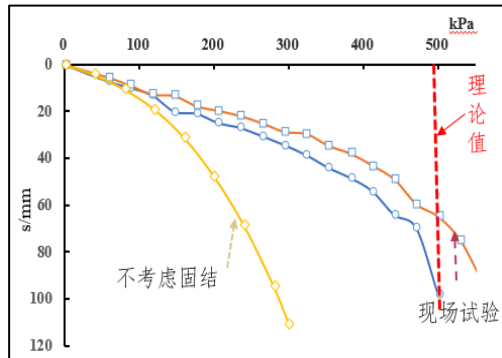
- ◆ 附件应力--固结度--有效应力--含水率--承载力
- ◆ 试验验证：理论计算503kPa，模型试验、现场载荷板试验约530kPa，误差5%~8%
- ◆ 应用成效：北口大桥南锚碇沉井砂桩置换率由63%优化为36%



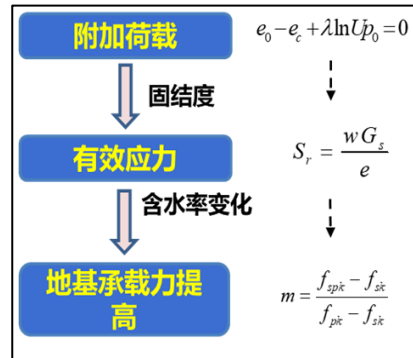
模型试验



现场试验



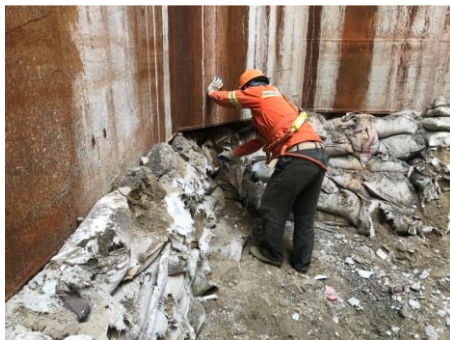
理论与试验对比



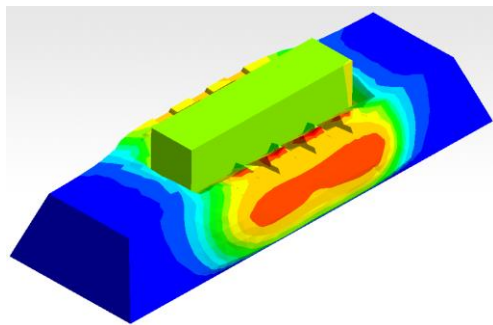
地基承载力理论计算方法

□ 沉井半刚性支撑与柔性支撑转换控裂技术

- ◆ 砂袋支撑破坏模式理论、数模及室内模型试验分析，砂袋支撑破坏模式
- ◆ 沉井荷载压裂砂袋难度大；砂袋划除砂难压出；支撑改变，砂袋支撑不可靠



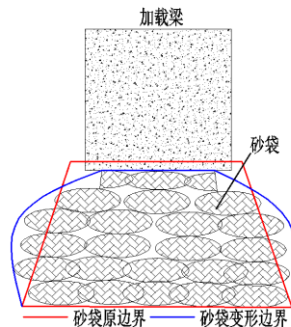
初始砂袋支撑



砂袋支撑模拟



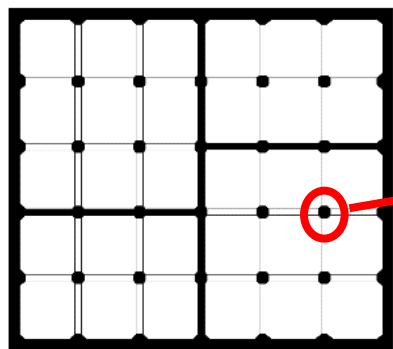
砂袋抽取模型试验



砂袋滑移破坏模式

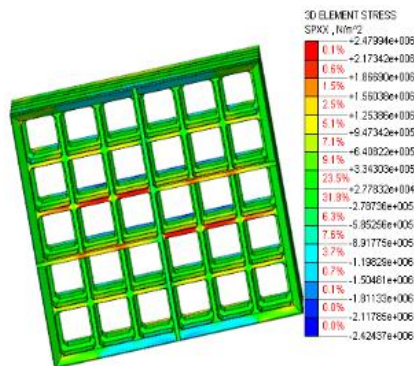
□ 沉井半刚性支撑与柔性支撑转换控制裂技术

- ◆ 节点距离隔舱锅底中心较远，支撑更易保证，推荐“节点支撑”方案
- ◆ 砂袋支撑稳定性较难控制，支撑不明确，推荐下沉前置换节点砂袋
- ◆ 效果：结构未开裂，支撑快速转化。



■ 初始砂袋/垫块支撑 ■ 回填支撑 □ 无支撑

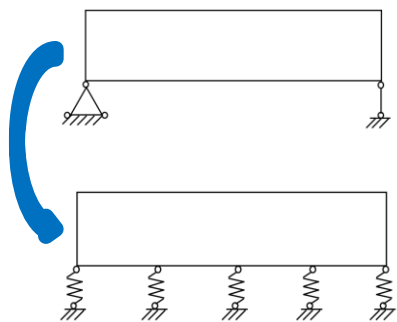
节点柔性支撑置换



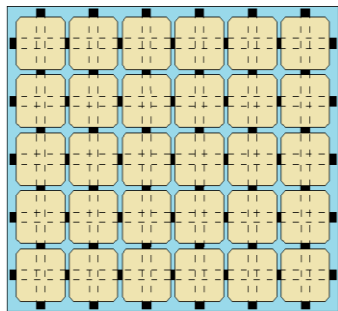
节点支撑计算

多支点线弹性支撑施工控制方法

- ◆ 保证沉井开挖面积，控制沉井悬空跨度；
- ◆ 兼顾沉井各舱开挖下沉同步均匀、突沉；
- ◆ 效果及成果：北口沉井无开裂，规程条目



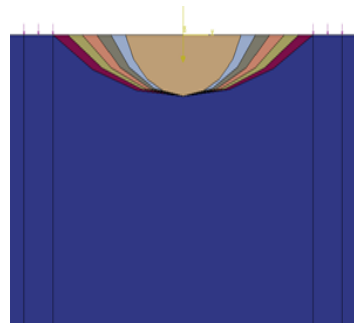
多节点支撑理念



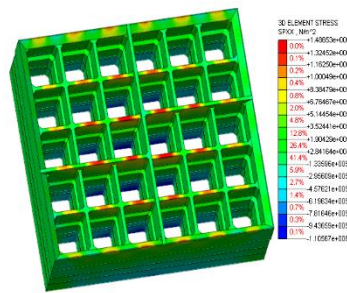
多支点开挖法示意



预留锅边距



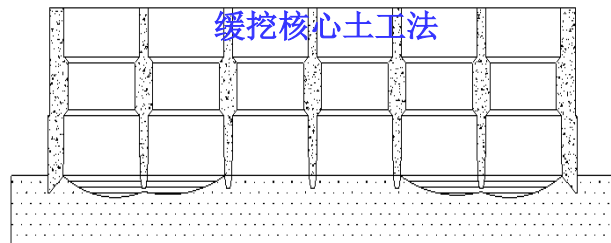
锅边距分析



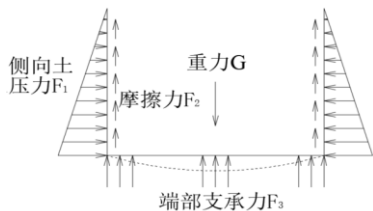
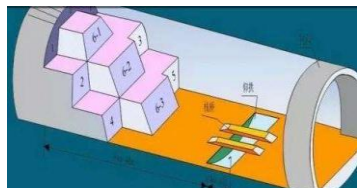
锅边距分析

沉井水下核心区块弹性支撑施工控制方法

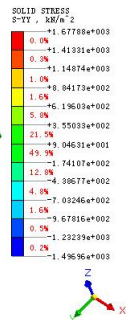
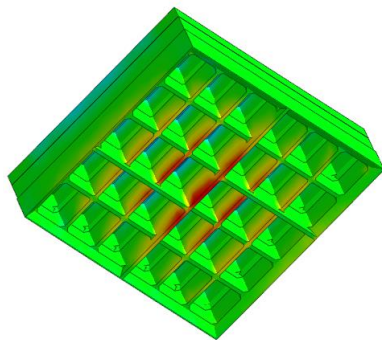
- ◆ 优先保留核心舱土体、开挖周边舱土体、核心舱土体滞后开挖
- ◆ 效果及成果：应力降低50%以上，列入规程



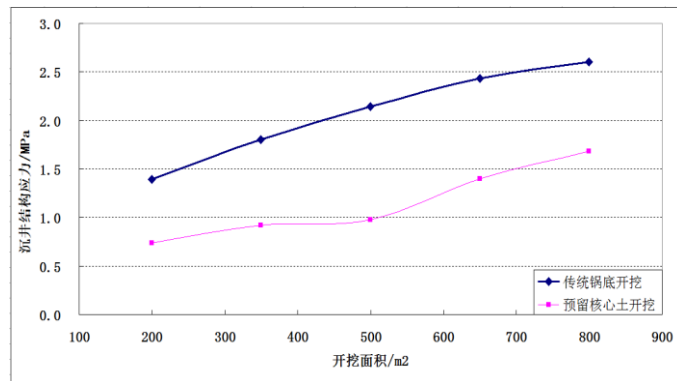
☐ 开挖面 □ 土层



核心区块弹性支撑理念



计算分析



与传统开挖方法应力对比

□ 沉井结构安全挠曲变形控制技术

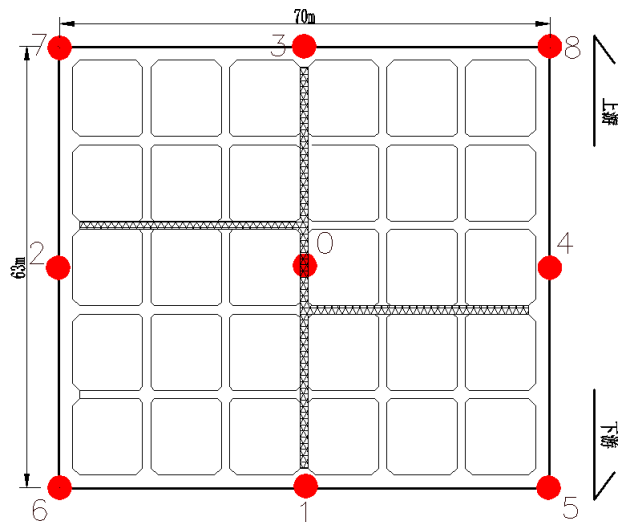
- ◆ 沉井监测点数目众多，仪器易于损坏、监测数据失真
- ◆ 沉井底部应力与沉井挠曲方向应有对应关系

表 7.1.3 沉井与沉箱监测项目选择

工程监测等级	地下管线位移	地表土体沉降	建(构)筑物沉降	下沉深度	结构偏移	高差
一级	√	√	√	√	√	√
二级	√	√	√	√	√	√
三级	√	√	√	√	√	√
工程监测等级	地下水位	刃脚土压力	井壁外侧土压力	土体水平位移	土体分层沉降	钢筋应力
一级	√	◇	◇	√	◇	◇
二级	√	◇	◇	◇	◇	◇
三级	◇	◇	◇	◇	◇	◇

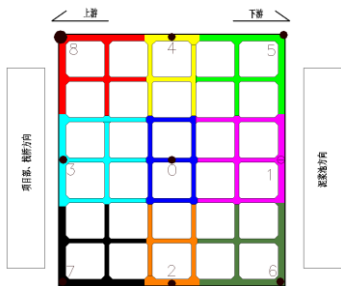
注:√为必选项目,◇为可选项目,可按设计要求选择。

规范规定沉井监测项目(无挠度监测)

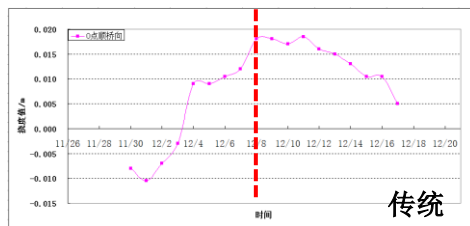


□ 隔舱分区集成开挖调节技术

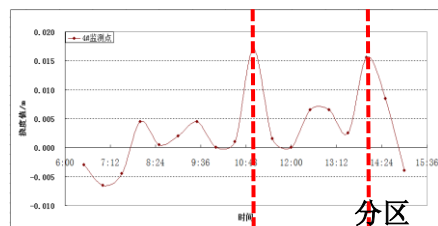
- ◆ 单分区隔舱施工协同、精简控制单元、姿态应力控制快速反应
- ◆ 大型、特大型沉井下沉施工结构及几何姿态快速调整与有效控制
- ◆ 工程应用：北口采用9分区控制，调节姿态应力由最高的8天缩减为0.5h以下



沉井分区开挖控制



传统



分区

监测数据反映的周期对比

□ 四绞刀吸泥装备

- ◆ 黏土黏聚力高，整体性好，难破除，效率低
- ◆ 对淤泥质黏土处理，形成松散体，实现快速取土
- ◆ 研发高黏性地层和板结砂层“四绞刀吸泥装备”（北口沉井下沉量由不足3cm/d提高至20cm/d）



四绞刀取土设备



取土效果对比

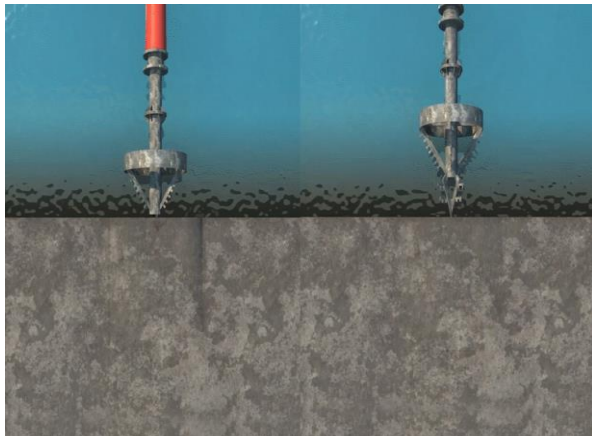
□ 适用多地层的新型取土装备

◆ 装备可自行走、管线快速安拆，30min实现快速转点移舱

◆ 创新了分级切削防糊钻头，吸泥工效提升5倍以上



移动台车+回旋钻机



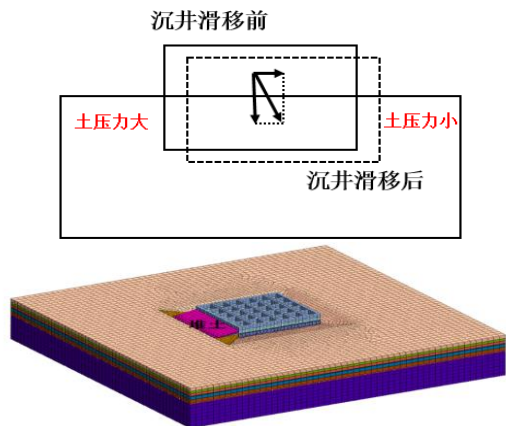
钻头取土对比



钻头改进

❑ 沉井偏位快速调节技术

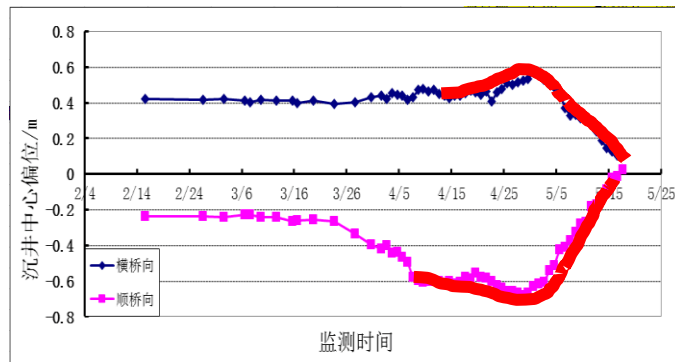
- ◆ 不对称堆载：采用堆载方式，推动沉井整体水平移动
- ◆ 应用效果：北口沉井5m的侧向堆载，半个月纠偏量达50公分以上



不对称堆载纠偏



现场堆载纠偏



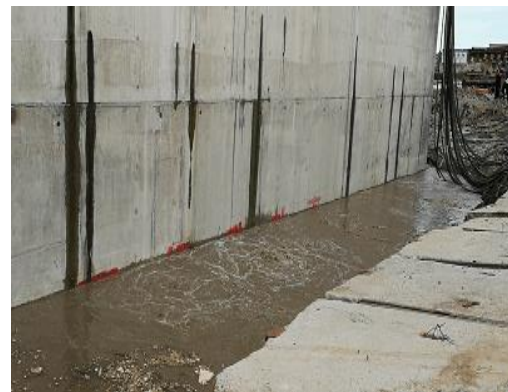
堆载纠偏实际应用

□ 沉井助沉技术

- ◆ 大型沉井入土深度大，终沉困难，常采用空气幕助沉技术
- ◆ 相较砂质地层，黏性土地层空气幕减阻助沉效果差，提出空气幕布置原则



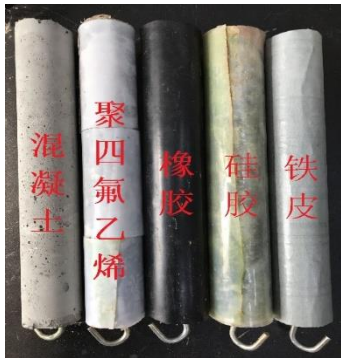
砂层空气幕



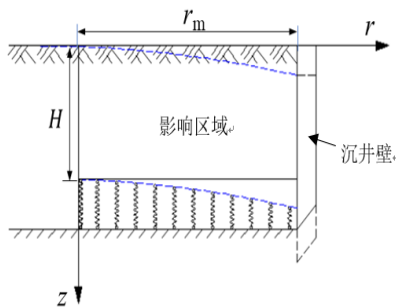
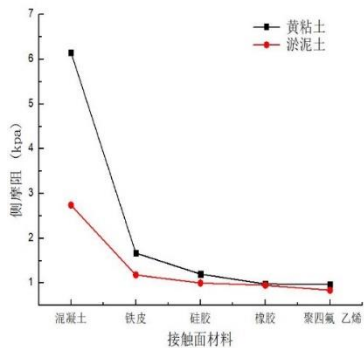
黏土层空气幕

□ 沉井助沉技术

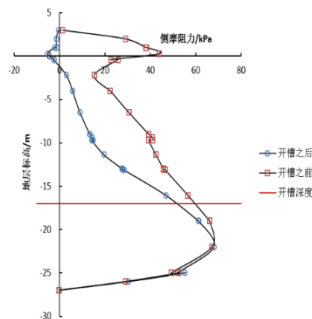
- ◆ 开展减阻材料、隔断土体等研究，提出系统化助沉解决方案
- ◆ 主要结论：推荐橡胶减阻；隔断土体平均可降低槽底以上侧阻70%



减阻材料实验



沉井侧阻发挥理论分析



拉槽隔断减阻

汇报内容

一、研究背景

二、依托工程概况

三、沉井施工关键技术

四、总结

- 提出了“有效应力-含水率-承载力”作用机理模型，创建了考虑固结的砂桩加固承载力计算方法。
- 提出了多支撑体系转换的开挖下沉方法，确保了沉井施工结构安全。
- 研制了适用于高黏性与高承载力地层的四绞刀、可移动式取土装备，实现了高效取土施工。
- 提出了沉井分区集成开挖下沉方法、荷载补偿纠偏及助沉技术方法。





中国交建

CHINA COMMUNICATIONS CONSTRUCTION

让世界更畅通

We build a better connected world

让城市更宜居

We make cities more livable

让生活更美好

We create better life for people

