



西安电子科技大学  
XIDIAN UNIVERSITY



基于数字孪生的盾构机掘进姿态智能控制平台

# 破晓蛟龙

基于数字孪生的盾构机掘进姿态智能控制平台



1

## 盾构机纠偏出现误差

2019年12月1日，广州市广州大道北与禺东西路交界处因盾构机纠偏出现误差导致**地面塌陷**，三人被困。



2

## 盾构机盾进方位与预测方位偏差产生扰动

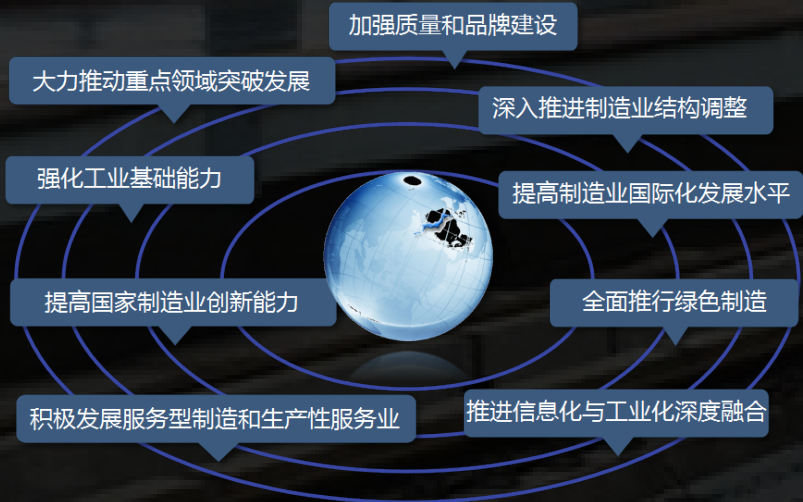
2021年9月10日，成都轨道交通17号线因盾构机盾进方位与预测方位偏差产生扰动，**地面垮塌**。事故造成4人死亡，14人受伤。

# 政策背景

## 未来趋势

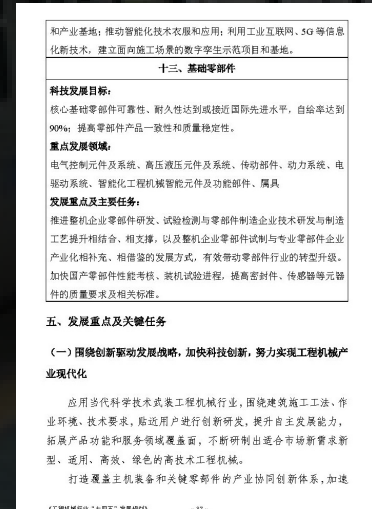
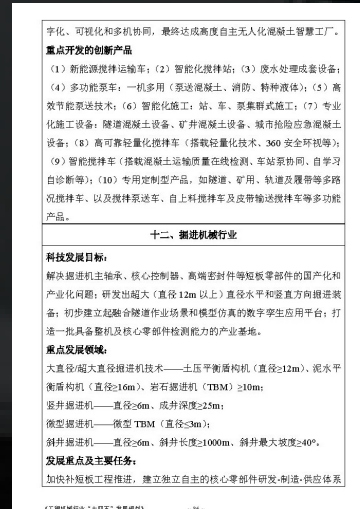
中国制造2025提出：“推进信息化与工业化深度融合。” 两化深度融合是指信息化与工业化在更大的范围、更细的行业、更广的领域、更高的层次、更深的的应用、更多的智能方面实现彼此交融。

## 中国制造2025



## 政策支持

2021年7月发布的《工程机械行业“十四五”发展规划》中强调重点发展大直径 / 超大直径掘进机技术，解决盾构机等掘进机零部件供应链假设问题，建造智能化产业基地，建立模型仿真的数字孪生平台。







## 纠偏精度低

轴线偏差量预测困难；依赖人工经验，参数准确性不足；掘进方案指定难。



## 纠偏不及时

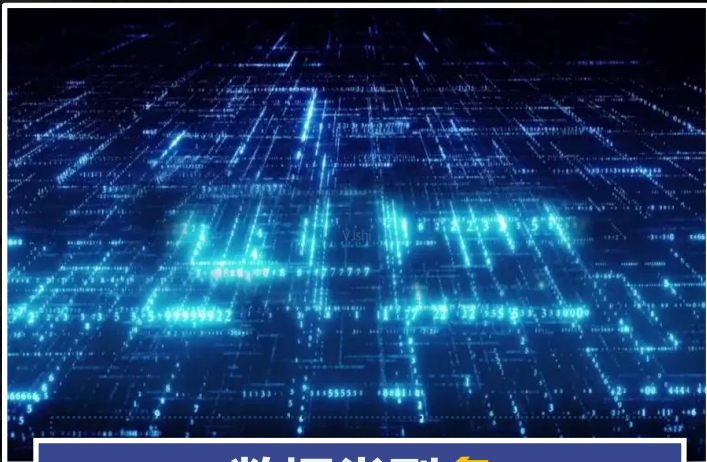
人工监控敏感度低，偏离状况发现不及时，纠偏相对滞后。



## 纠偏成本高

传统纠偏法耗费人力物力财力，成本高效率低工作量大。

# 当前盾构技术无法解决环境下的痛点问题



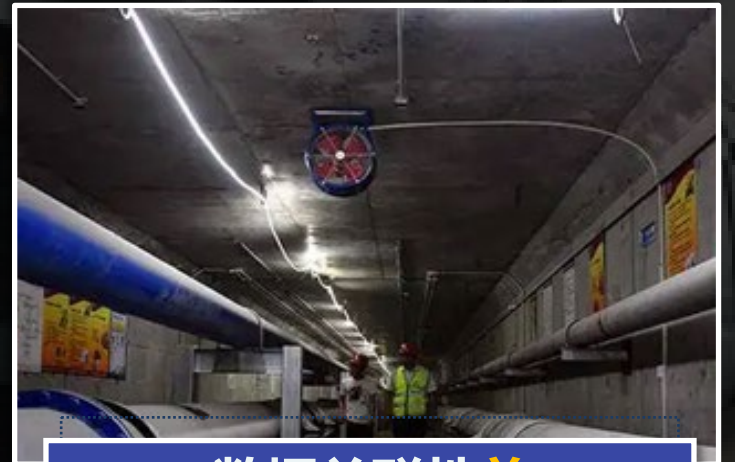
数据类型多

盾构机采集到的参数包含角度、转速、湿度等多类型的数据，处理过程复杂，运算速度慢。



数据利用率低

历史数据摒弃严重且实时数据无法有效利用

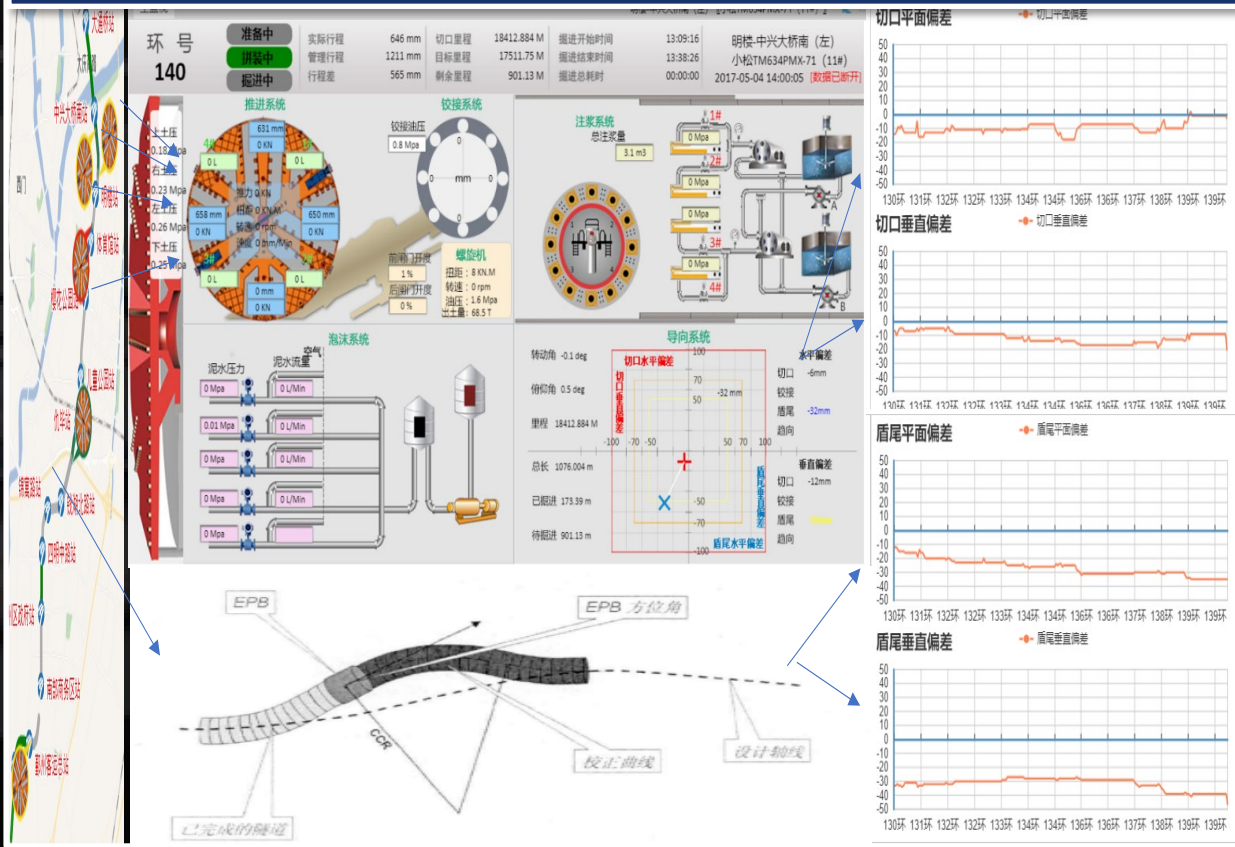


数据关联性差

施工单位多，彼此数据不能共享，纠偏历史数据单一



## UI界面展示：盾构纠偏虚拟仿真平台



盾构实时数据导入软件平台

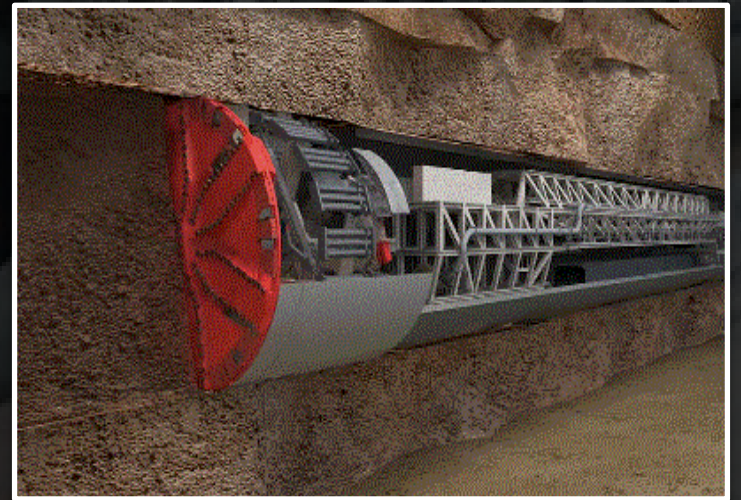


对数据分析训练，预测纠偏回传给工控机



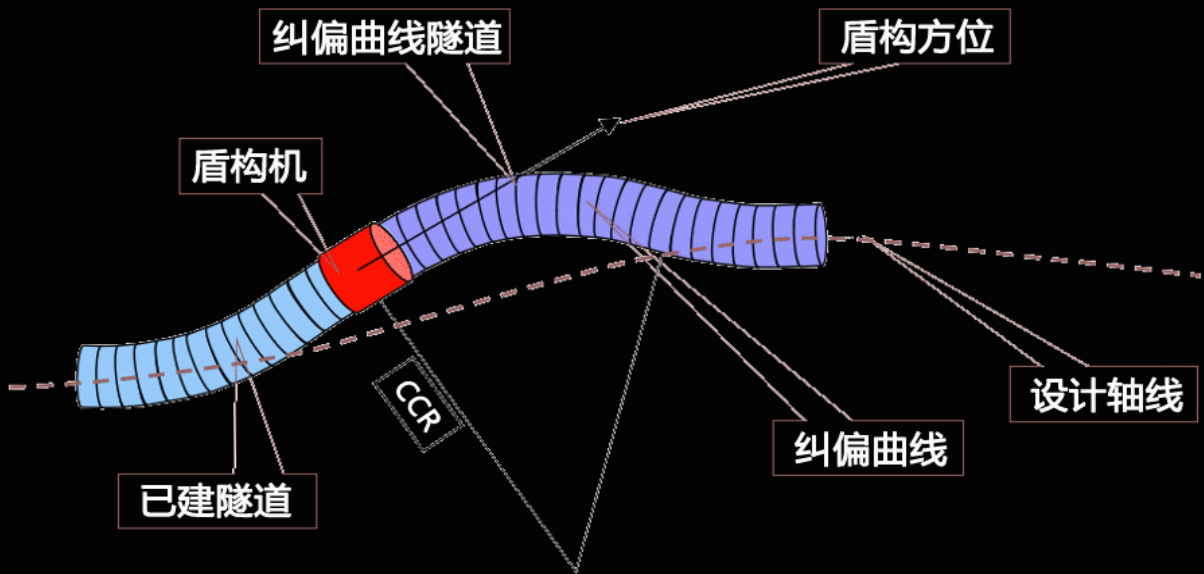
工控机

应用对象  
盾构机



盾构机上的工控机将数据导入云端平台通过智能分析反馈预测及纠偏建议数据

## 盾构掘进纠偏施工过程



## 盾构掘进过程

实际轨道与设计轴线发生偏移

根据实时数据，动态分析盾构机姿态和工作区域地况，定制合理运行方向，规避地下建筑群和危险地形。

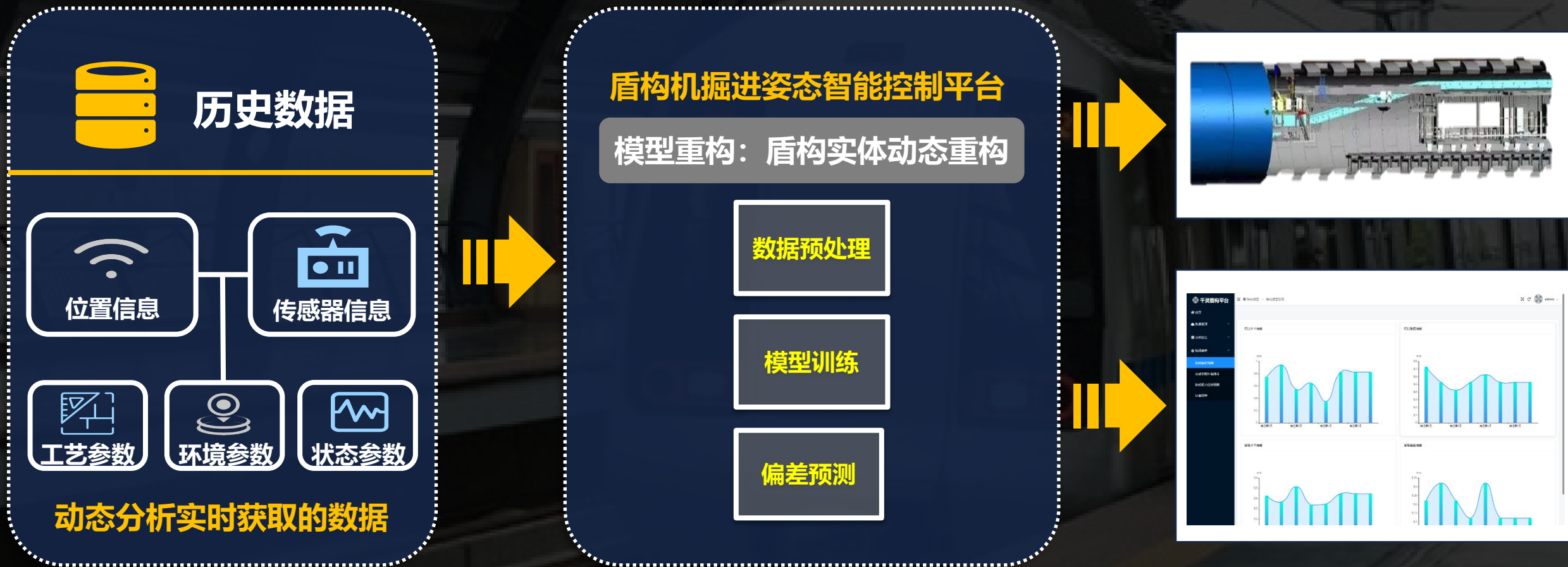
## 盾构纠偏虚拟仿真平台

盾构机在偏离后立刻向设计轴线靠拢，克服原有纠偏过程高度依赖人工测量的弊端。



# 技术突破：基于深度学习的数据挖掘技术

轴线偏差值不但与实时的掘进参数有关，而且是基于前一刻偏差量的基础上发生变化。



增加历史数据利用率，提高偏差预测精度

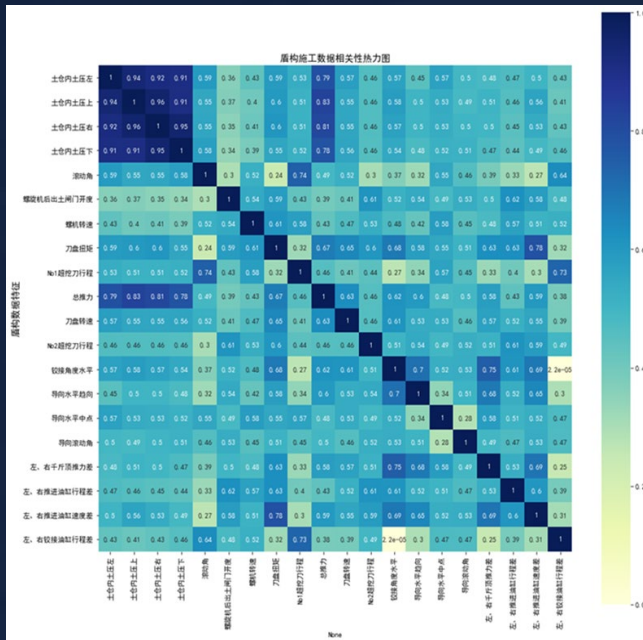


# 技术突破：智能数据降维技术

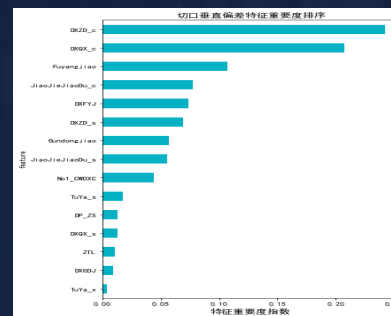
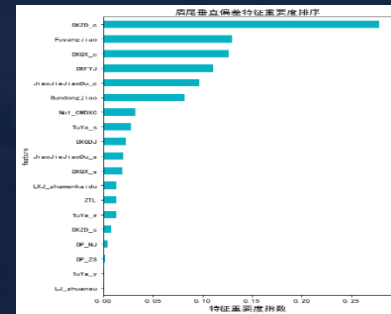
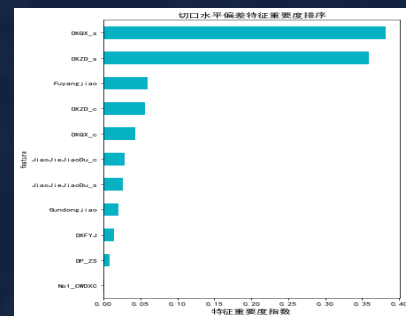
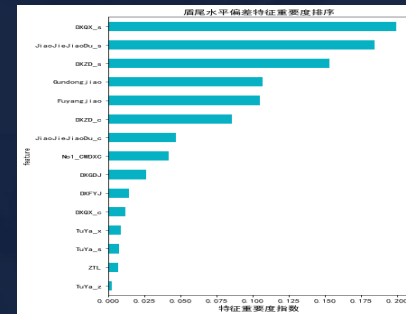


相关性分析  
+  
XGboost  
+  
专家经验

合并数据集



相关性分析所得热力图



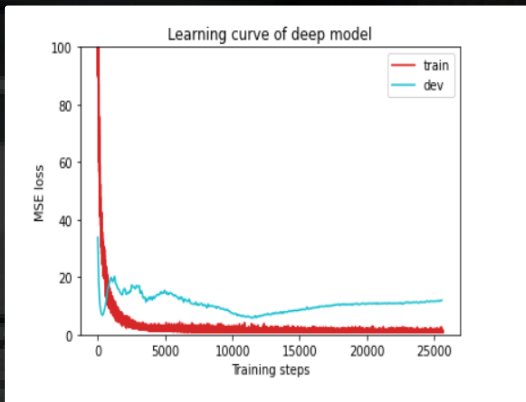
XGBoost特征重要度排序

可使60维参数降至最低30维，接入城市地下空间云端平台  
偏差分析速度可提高七倍

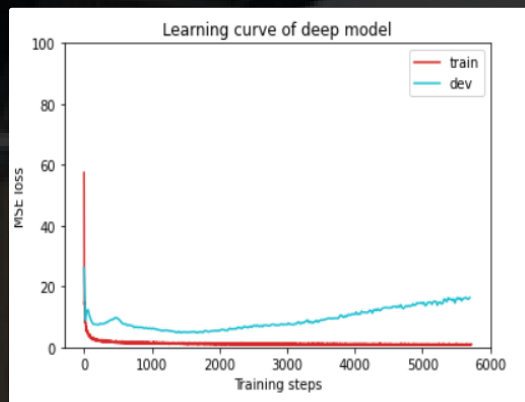


# 技术突破：基于组合数据包，采用迁移学习进行轴线偏差分析

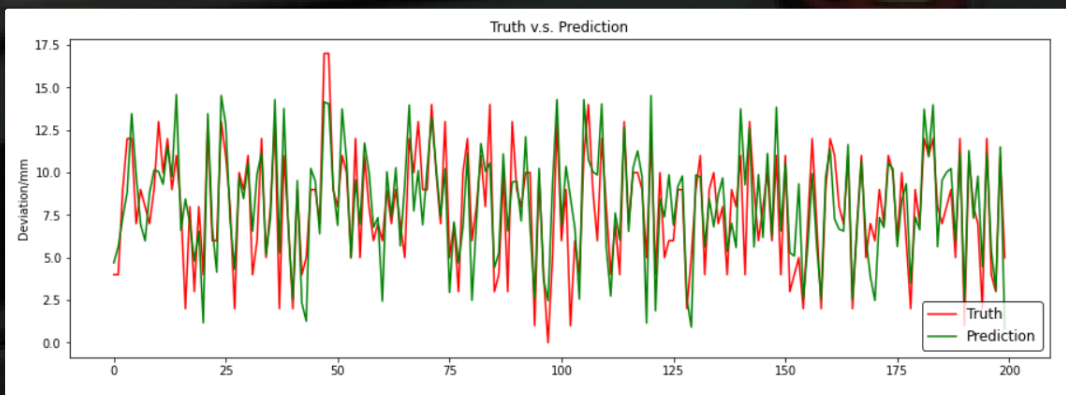
## 真实值与预测值均方误差



采用西安地铁盾构机数据训练偏差预测模型



在现有模型的基础上训练宁波地铁盾构机轴线偏差预测模型



应用迁移学习后：预测精度保持—预测速度更快

## 迁移学习

新任务的学习依赖于之前学习的任务：  
学习过程更快、更准确、需要更少的训练数据

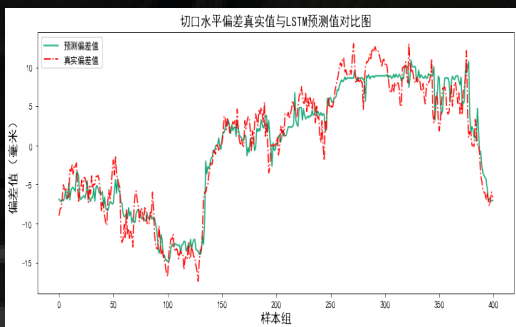


提高盾构轴线偏差预测模型泛化能力  
解决了区域差异导致模型使用受限的问题

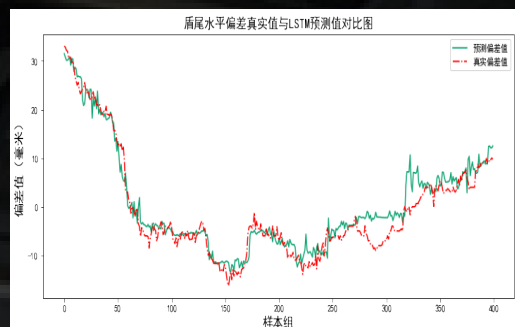


# 分析效果

水平方向  
与真实值  
对比

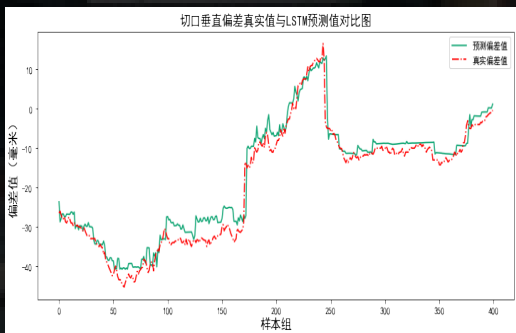


切口水平偏差

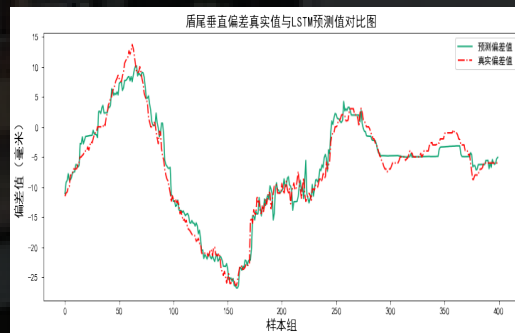


盾尾水平偏差

垂直方向  
与真实值  
对比



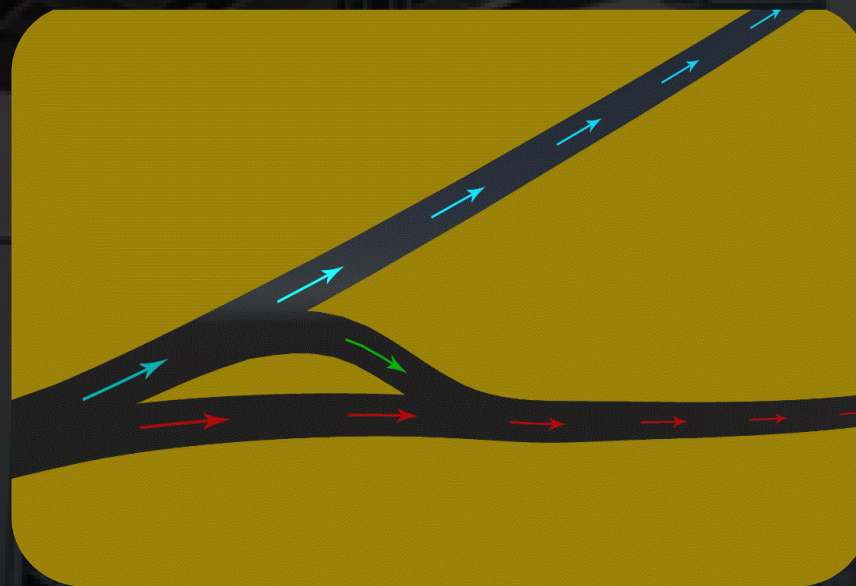
切口垂直偏差



盾尾垂直偏差

(红线代表真实值, 绿线代表预测值)

两线重合度高, 预测偏差小  
mm级精度预测, 精度高达99.63%



BP神经网络分析

RNN分析

LSTM分析

cm级精度

cm级精度

mm级精度

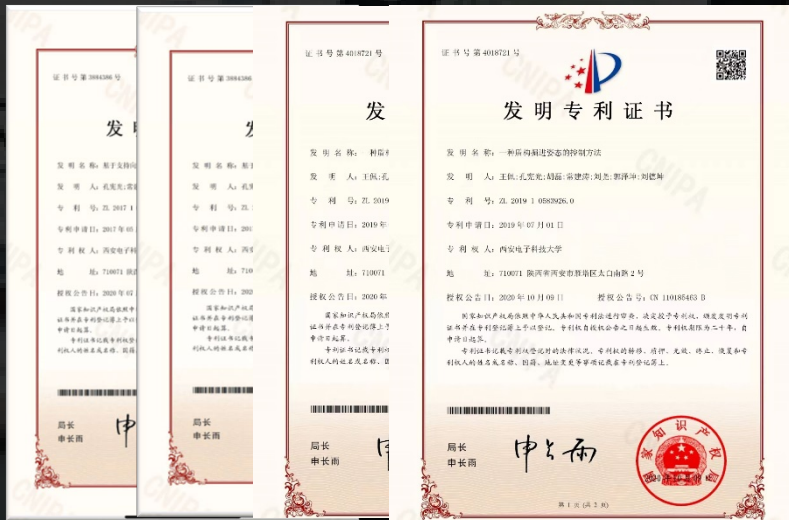
相比于传统的停机分析

精度倍数级提高, 速度几何倍数上升



# 技术成果

已有发明专利4项



获得软件著作权2项



发表期刊论文1篇





## 01

### 盾构机需求量

2019年~2021年中国盾构机市场需求量分别为558台、745台、845台。隧道掘进机平均价格约为4000万元/台。地铁、隧道等交通基础设施建设为盾构机消费的主要需求来源，占比达到七成左右。

## 02

### 未来发展趋势

盾构发展自动化、智能化，智能纠偏需求提升



## 03

### 盾构机产量

2021年，我国地铁隧道挖掘的主要设备盾构机产量为559台。



人工纠偏	数字孪生盾构纠偏平台	其他平台纠偏
方法传统使用较普遍	软件纠偏成本低	开发早
成本高	回传数据及时	算法落后
纠偏滞后	纠偏速度快（实时纠偏并回传数据）	平台不成熟、运行慢
纠偏误差大	纠偏操作难度小	纠偏精度低
纠偏耗时长	后期维护高效便捷	需要人工辅助项多
纠偏操作难度大	未全面推广	操作复杂
	市场信任度低	



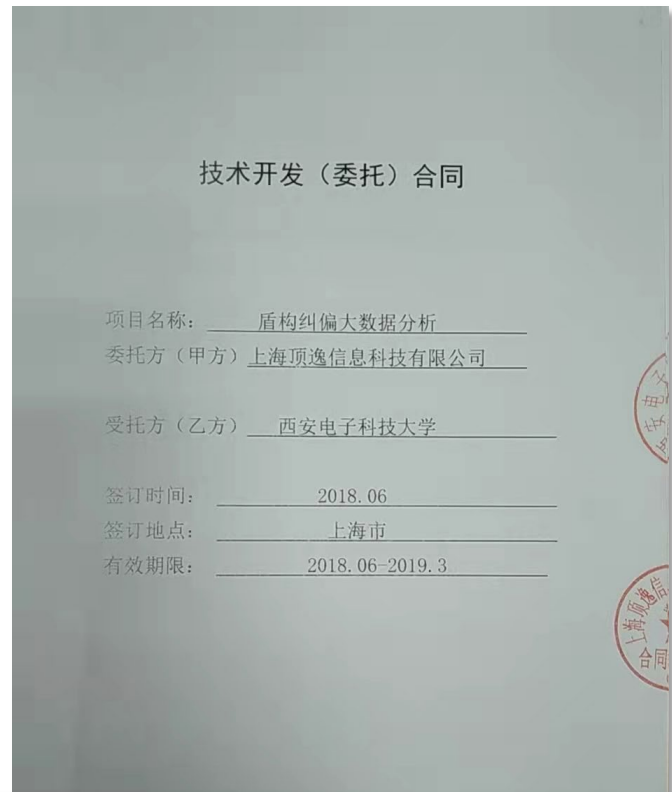


## 实地调研学习

帮助地铁线路安全快速建设  
完整预测工程进度



中国中铁  
中铁一局



### 技术开发（委托）合同

项目名称：盾构纠偏大数据分析

委托方（甲方）上海顶逸信息科技有限公司

受托方（乙方）西安电子科技大学

签订时间：2018.06

签订地点：上海市

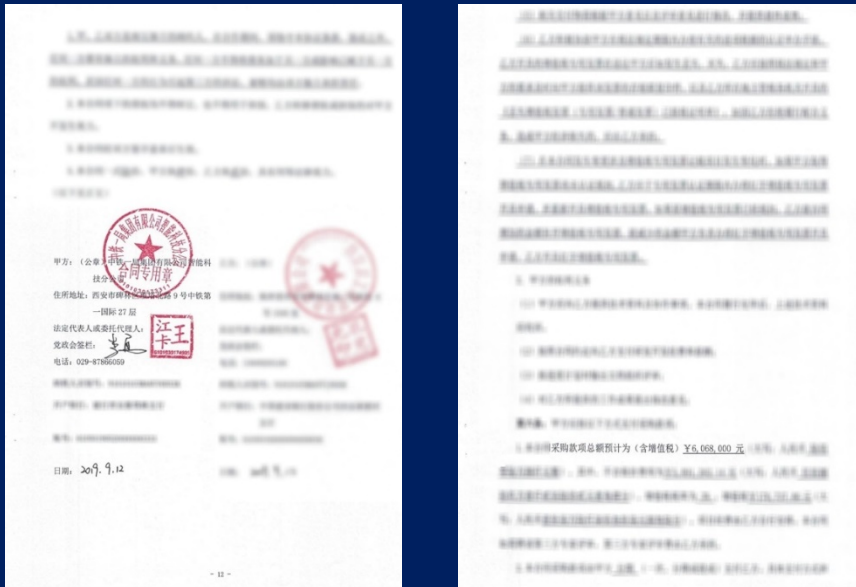
有效期限：2018.06-2019.3



顶逸科技

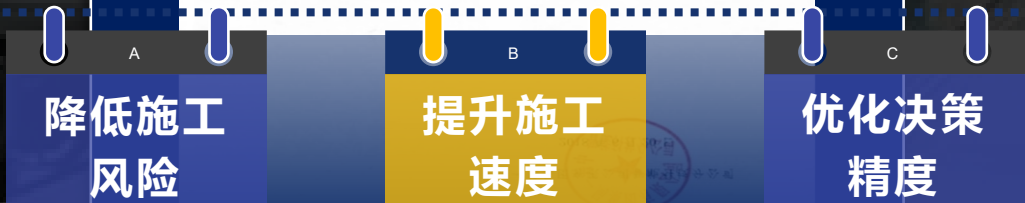
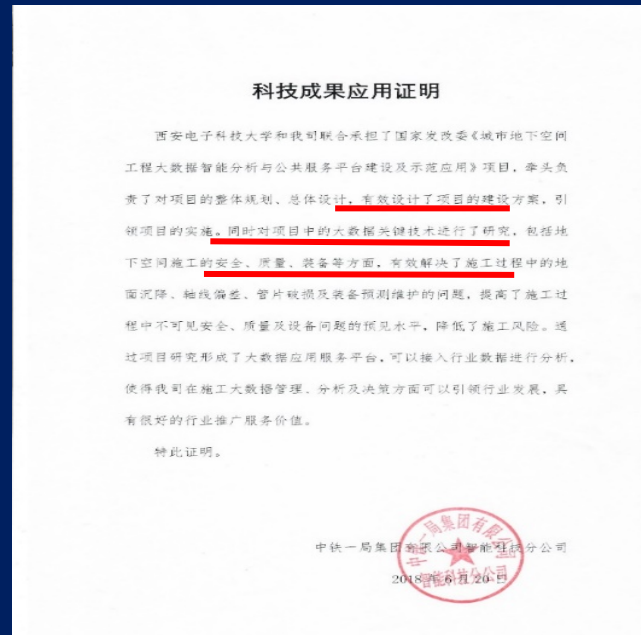
不需要融资 · 20-99人 · 计算机软件

## 与中铁一局签订合同



### 获业内认可引领行业发展

## 中铁一局高度评价





产教融合  
校企协同

依托西电**智能制造与工业大数据研究中心**  
培养“新工科”人才



学科交叉  
合作创新

机电、通信、数统等多专业学子参与  
**教育成果显著**





西安电子科技大学  
XIDIAN UNIVERSITY



基于数字孪生的盾构机掘进姿态智能控制平台

# 破晓蛟龙

从“质”变到“智”变  
开辟智能盾构之路