



全球工业互联网算法大赛  
Industrial Internet Algorithm Competition

# 汽车赛道 特斯拉

— 螺栓拧紧工艺结果预测 —



Teletraan 2021/08

# 任务分析

## 任务一：

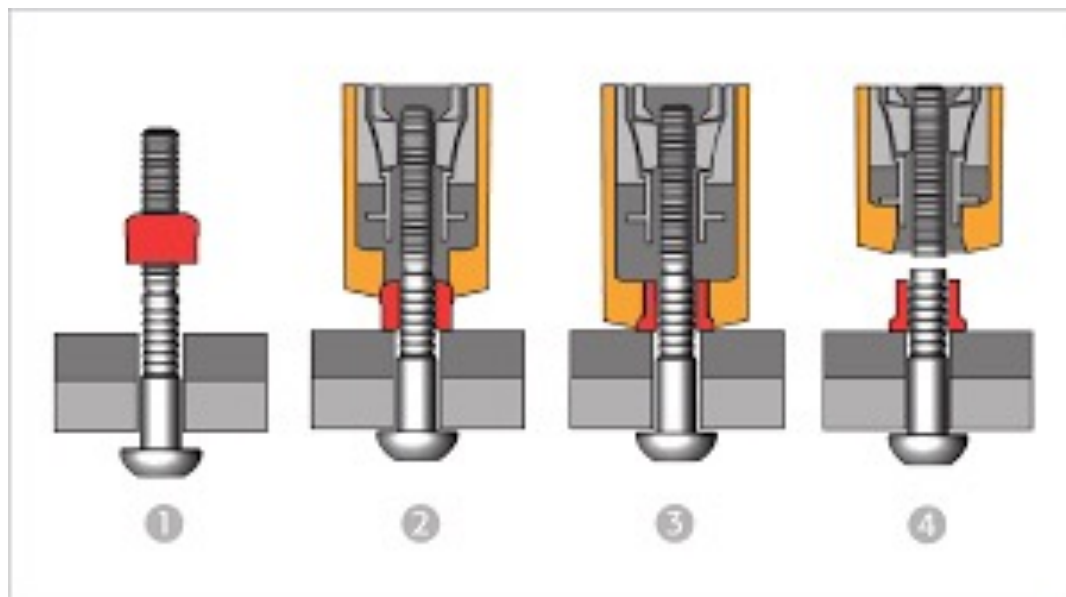
- 由动态扭矩曲线预测静态扭矩

## 评价函数：

- RMSE表示趋势的准确程度

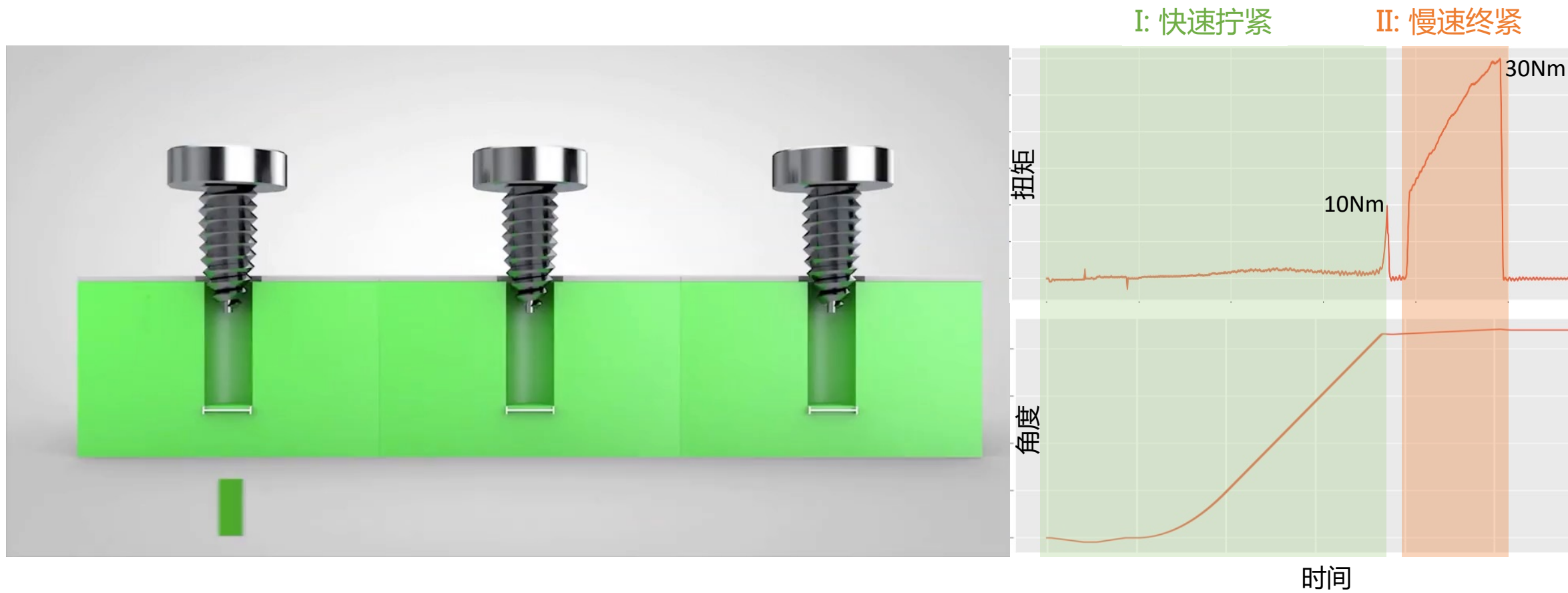
## 难点：

- 难以挖掘有效特征
- 趋势的模式难以学习



# 任务：机理角度认知

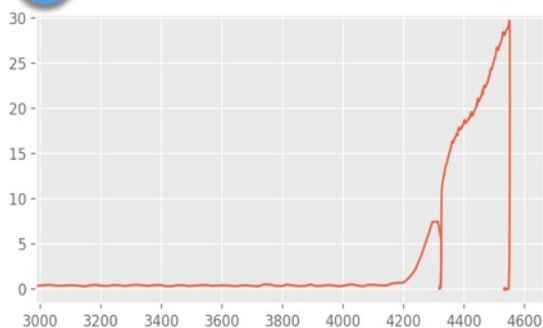
静态扭矩和动态扭矩之间没有明确的数学转换公式，实际多通过实验数据统计估算，因此任务本身难以预测



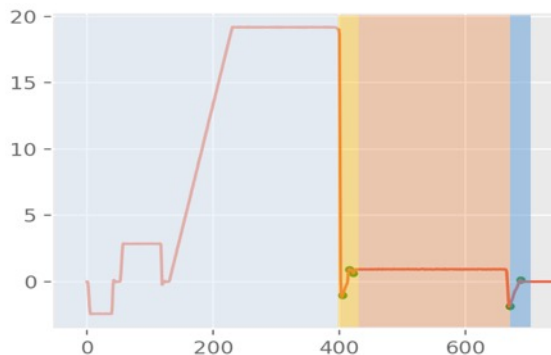
# 技术路线

## 数据

### ① 清洗、探索、标签异常

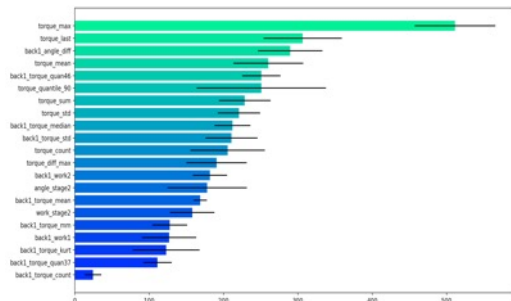


### ② 工序分割



## 特征

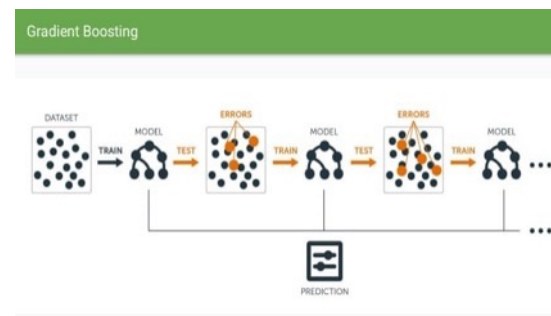
- 全局统计特征
- 工序统计特征
- 特征选择



## 模型

### ① 基于模型预测

- LightGBM梯度提升树
- 5折交叉验证, oof预测

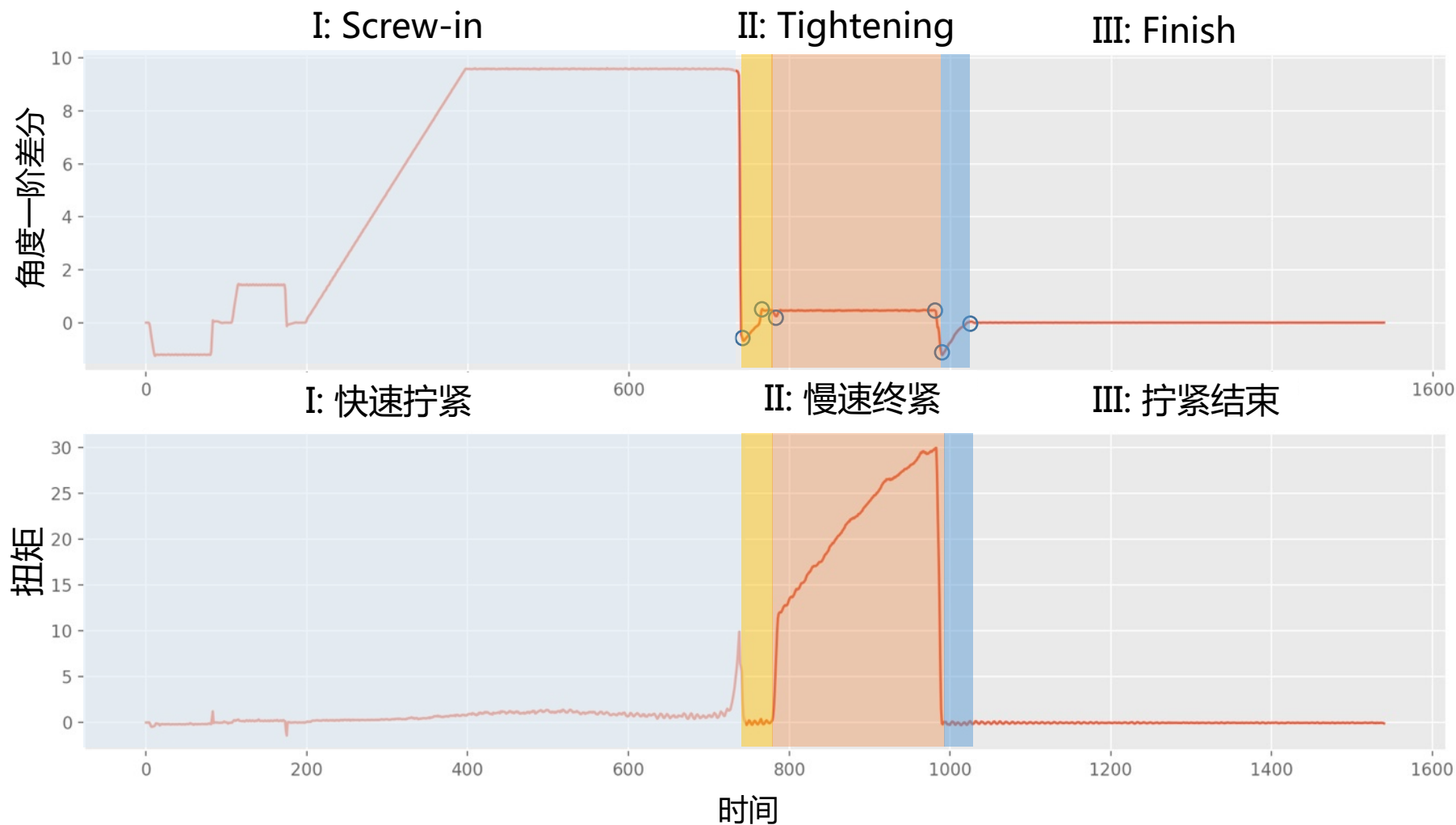


### ② 基于数据调整

- 扭矩反冲
- 基准调整

# 特征：工序阶段划分

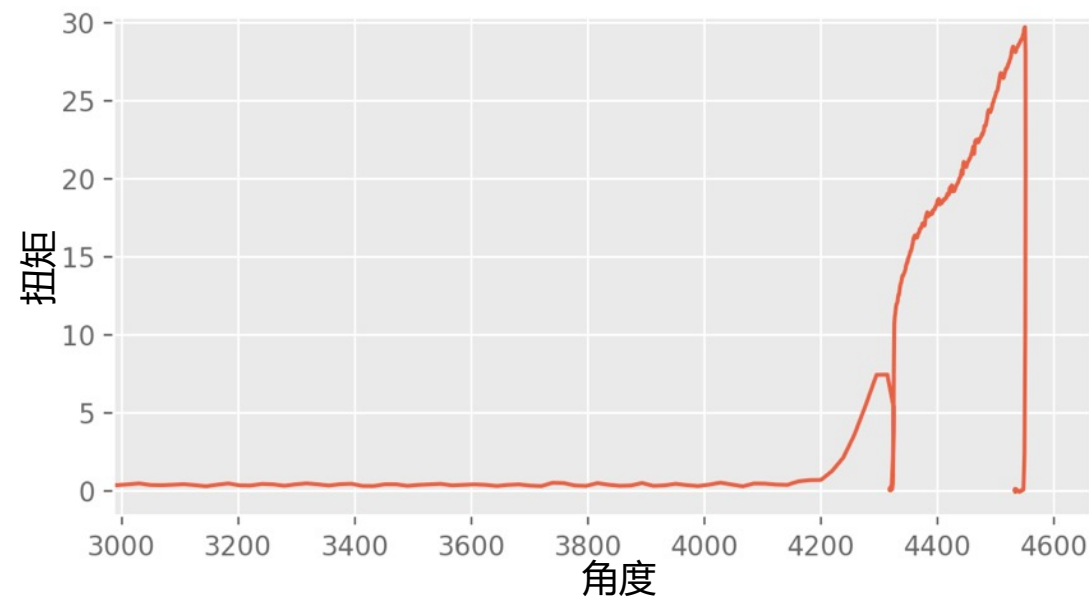
以**角度一阶差分**为依据划分工序的各个阶段，计算各分阶段的特征



# 特征：全局

## 全局统计特征:

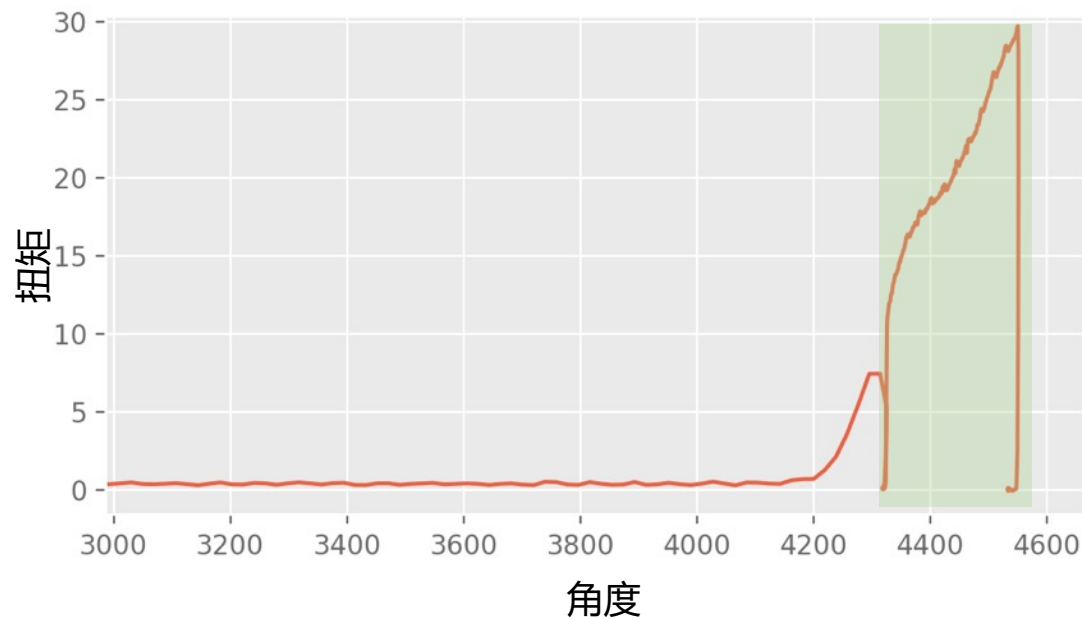
- 扭矩最大值、均值、标准差、最后值
- 扭矩一阶差分最大值
- 全局转过角度



# 特征：慢速终紧

## 慢速终紧阶段统计特征:

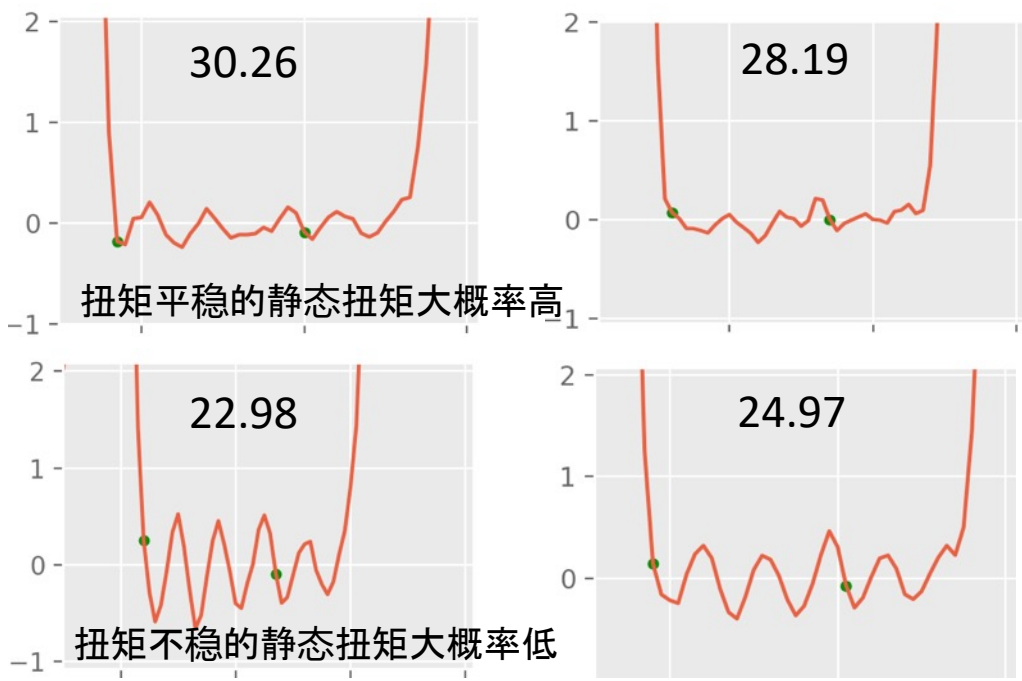
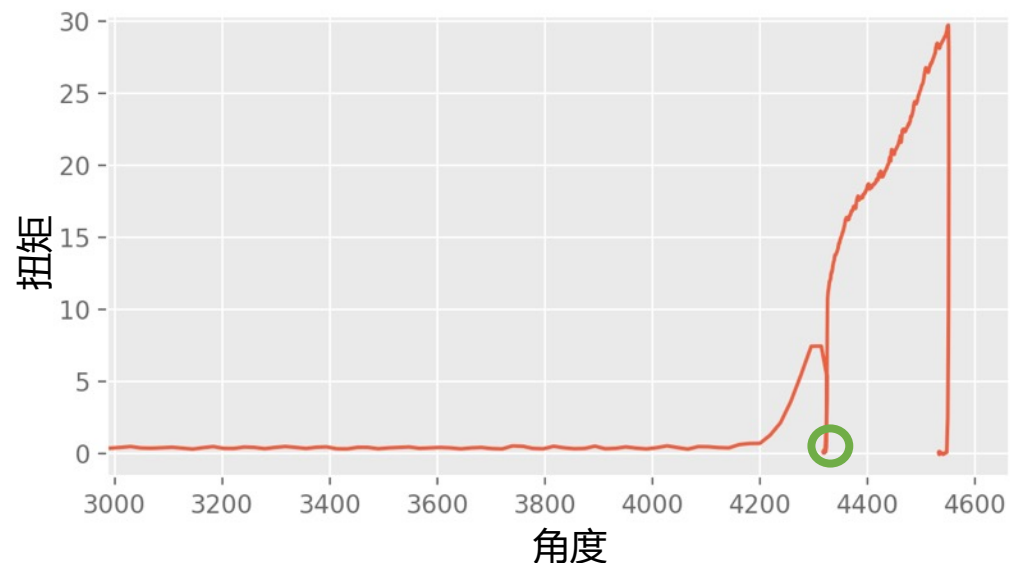
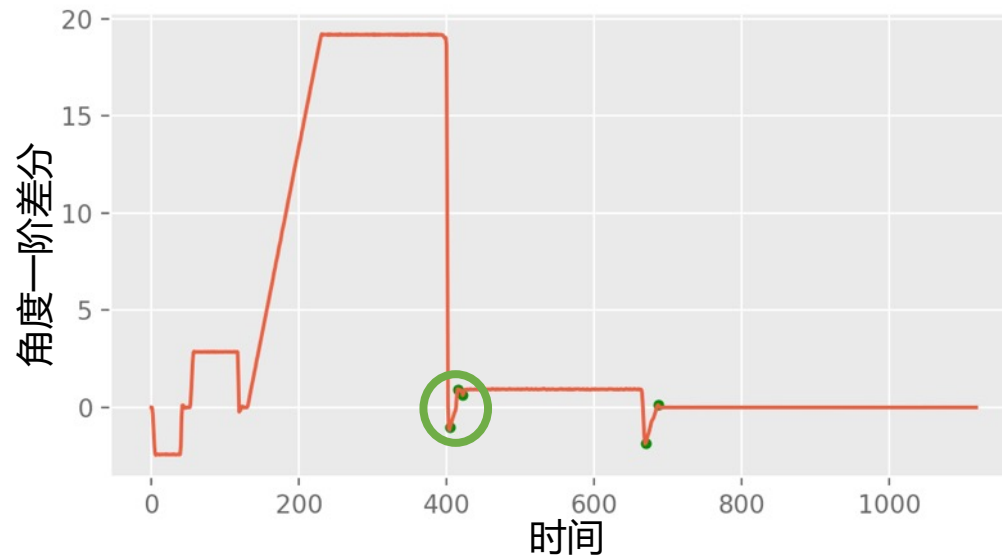
- 扭矩最大值、均值、中位数、标准差、偏度、峰度
- 扭矩均值与中位数的差值
- 扭矩一阶差分最大值
- 慢速终紧阶段做功(扭矩\*角度)大小
- 慢速终紧阶段转过的角度



# 特征：快速与慢速过渡

## 快速拧紧与慢速拧紧的过渡阶段:

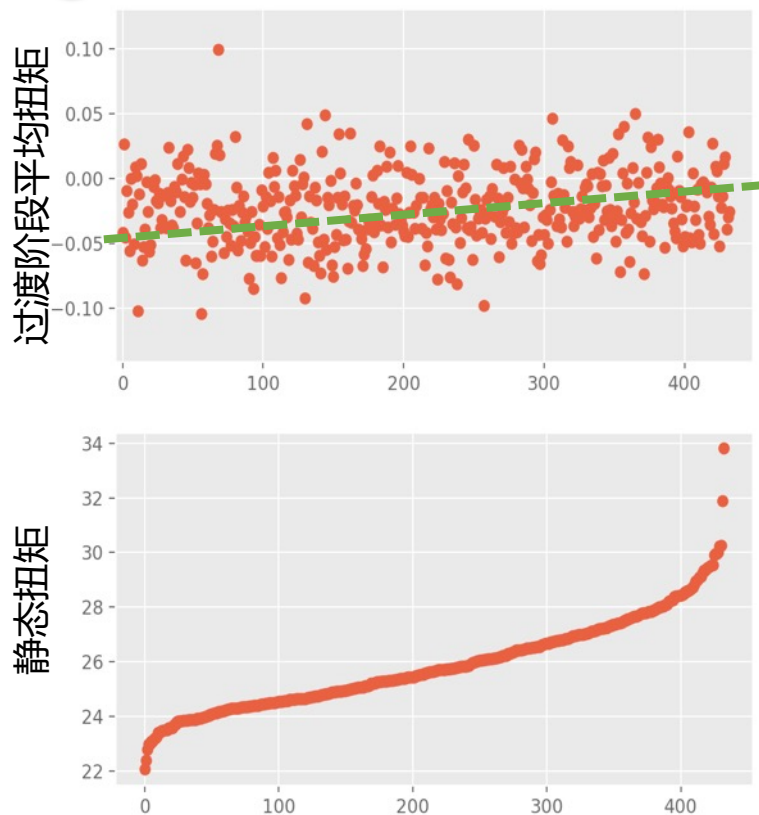
- 扭矩均值、中位数、标准差、偏度、峰度
- 扭矩均值与中位数的差值
- 过渡阶段做功 (扭矩\*角度)大小
- 过渡阶段转过的角度





# 特征选择

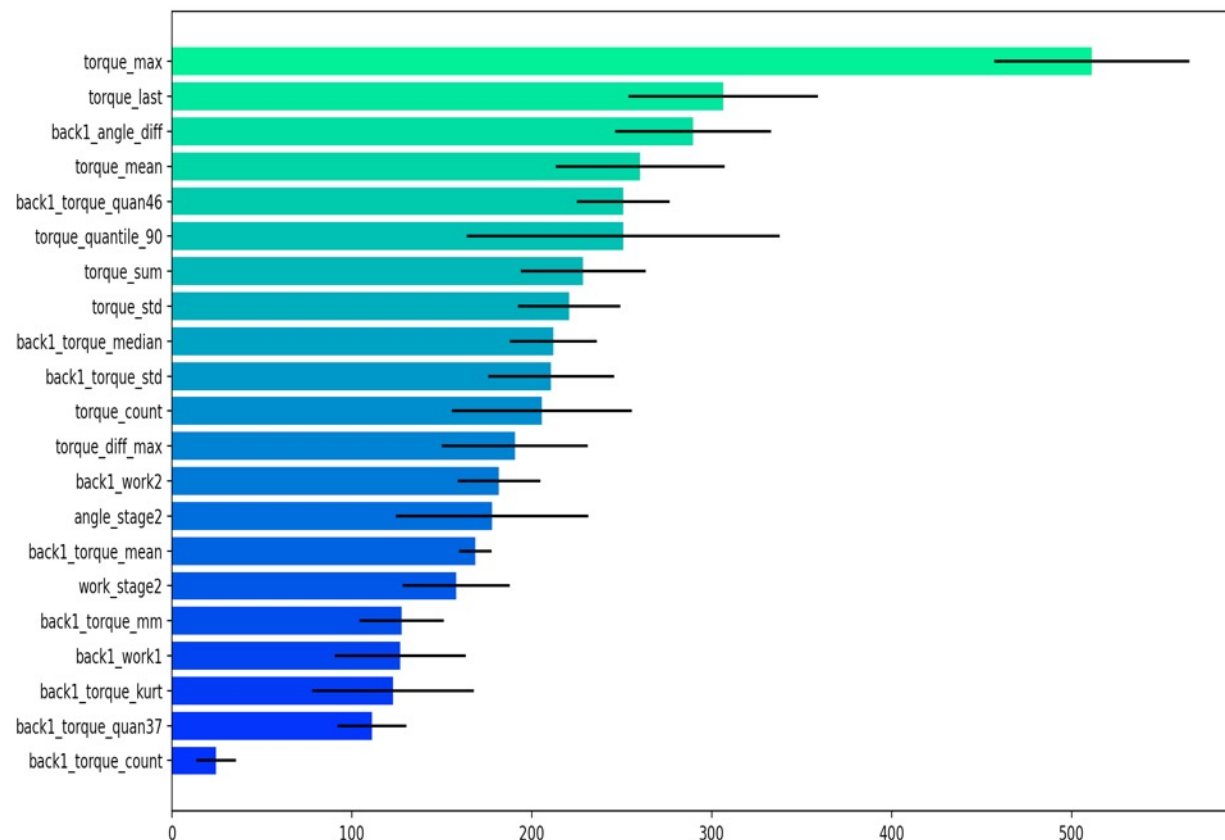
## ① 单调性检验



选择和静态扭矩目标单调的特征：

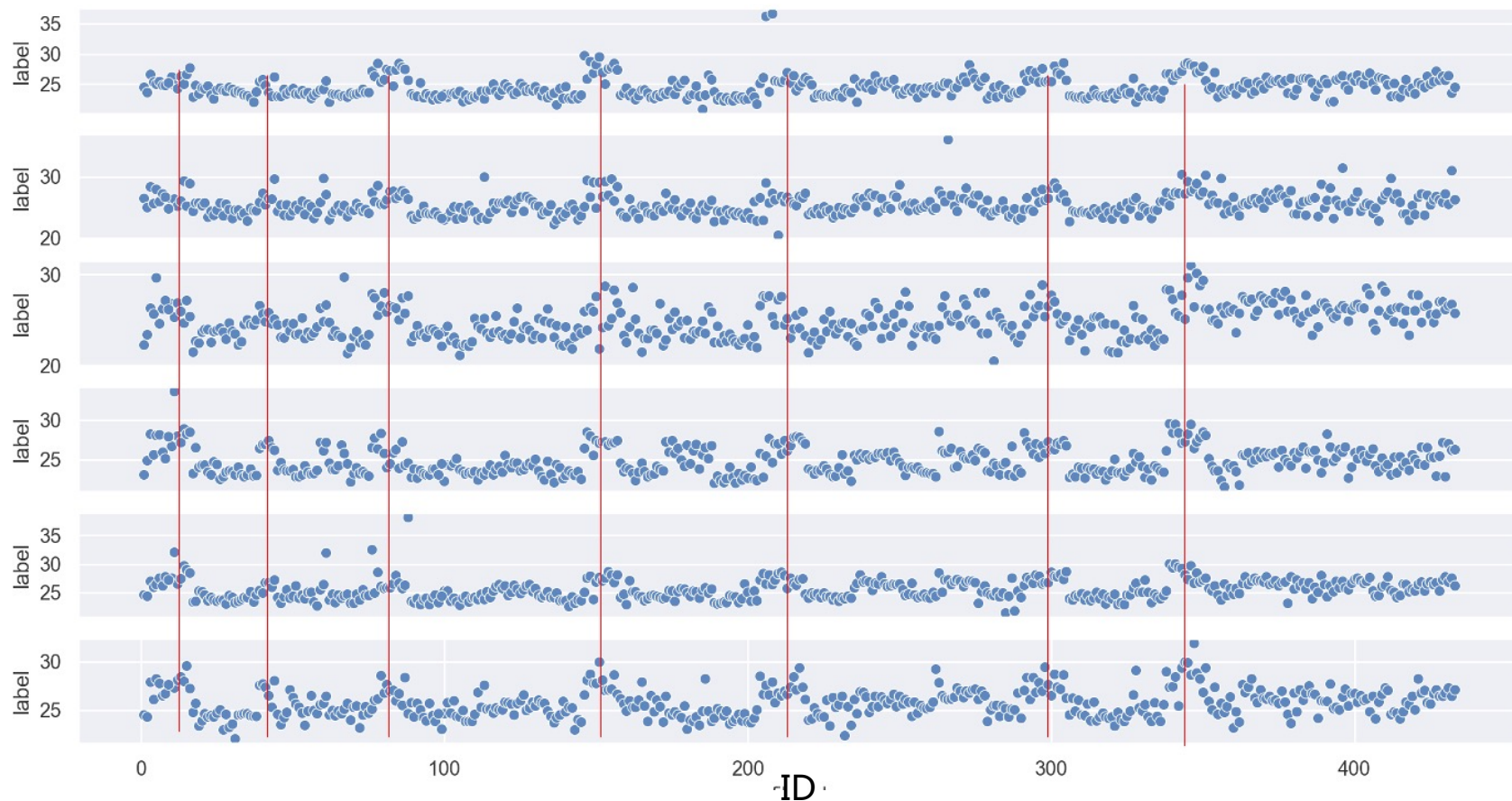
$$\text{Monotonicity}(x_i) = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \frac{|\text{number of positive diff}(x_i^j) - \text{number of negative diff}(x_i^j)|}{n-1}$$

## ② 特征重要性检验: 保留Top20



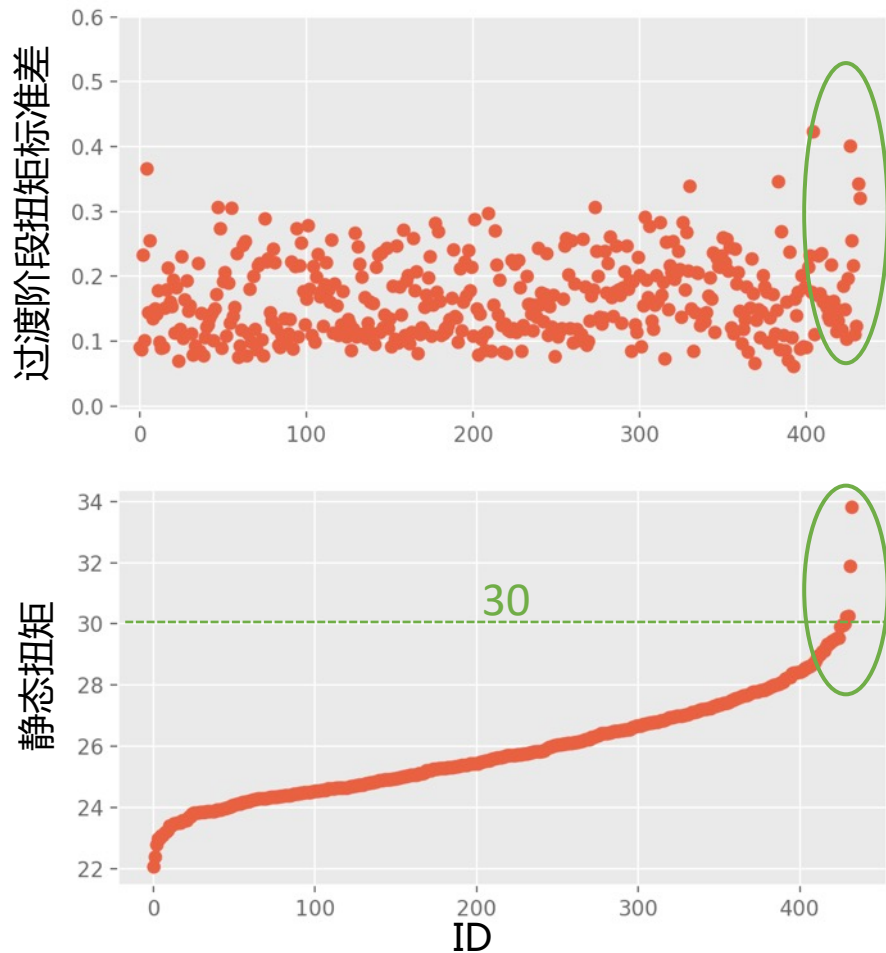
# 模型

- 6个点位的静态扭矩趋势相近，因此采用单一LightGBM模型
- 趋势基本稳态、存在某种周期性质



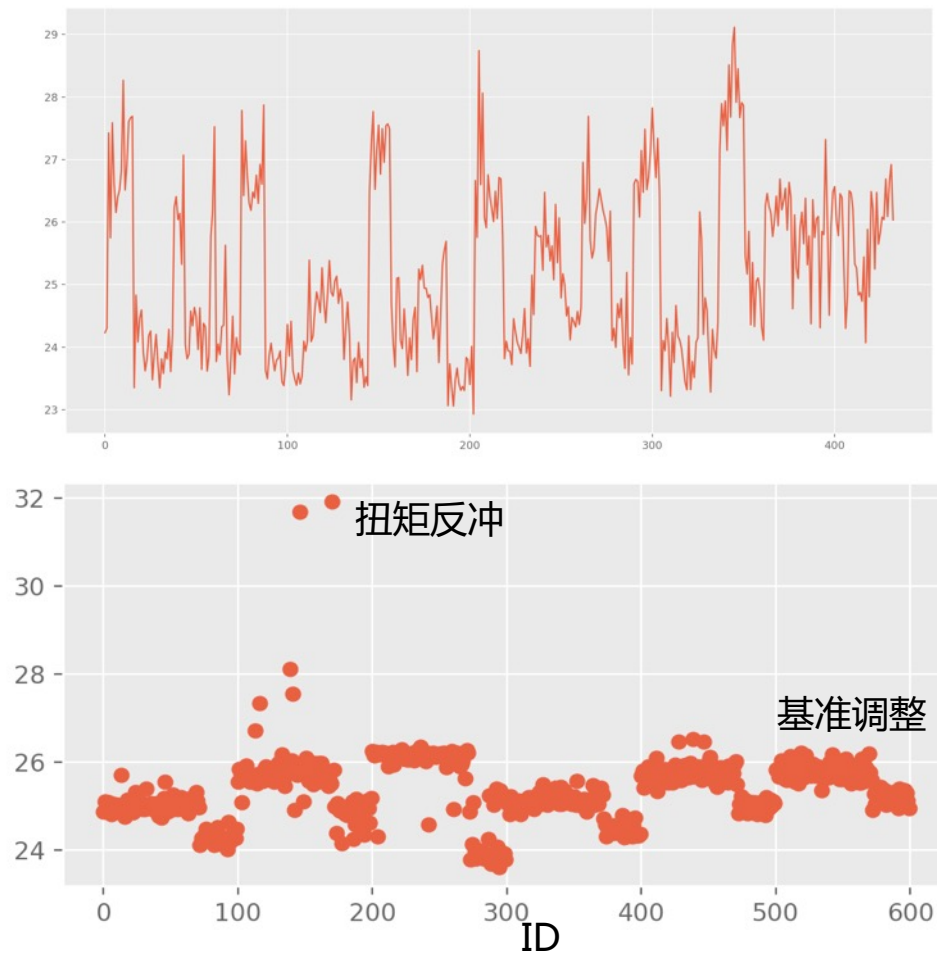
# 模型后处理

## ① 扭矩反冲：静态扭矩大于动态扭矩



选择预测最大值以及过渡阶段标准差大的样本 +3

## ② 整体基线后处理：真实值定期存在高点



通过线下验证发现预测基准偏高，预测基础上 -0.25

## 任务二：任务分析

---

### 任务二：

- 由动态扭矩曲线做异常检测

### 难点：

- 数据量大、总结异常类型需要丰富经验



## 任务二：技术路线

机理驱动的FMEA方法 (Failure Mode Effects Analysis) ✓

- 根据经验机理知识分析可能出现的异常类型，并逐一检测。

数据驱动的机器学习方法 ✓

- 采用异常检测算法根据经验机理知识分析可能出现的异常类型，并逐一检测。

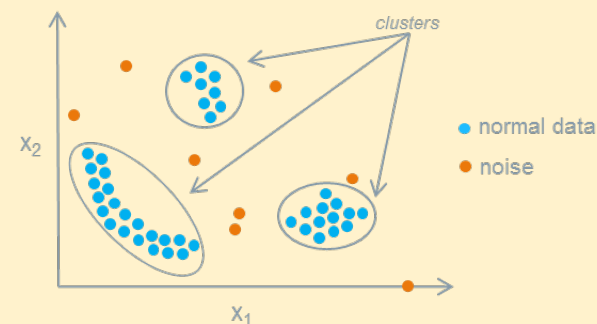


无监督方法 ✓

- 阈值、3 sigma、Isolation forest、One class SVM、聚类等

有监督方法

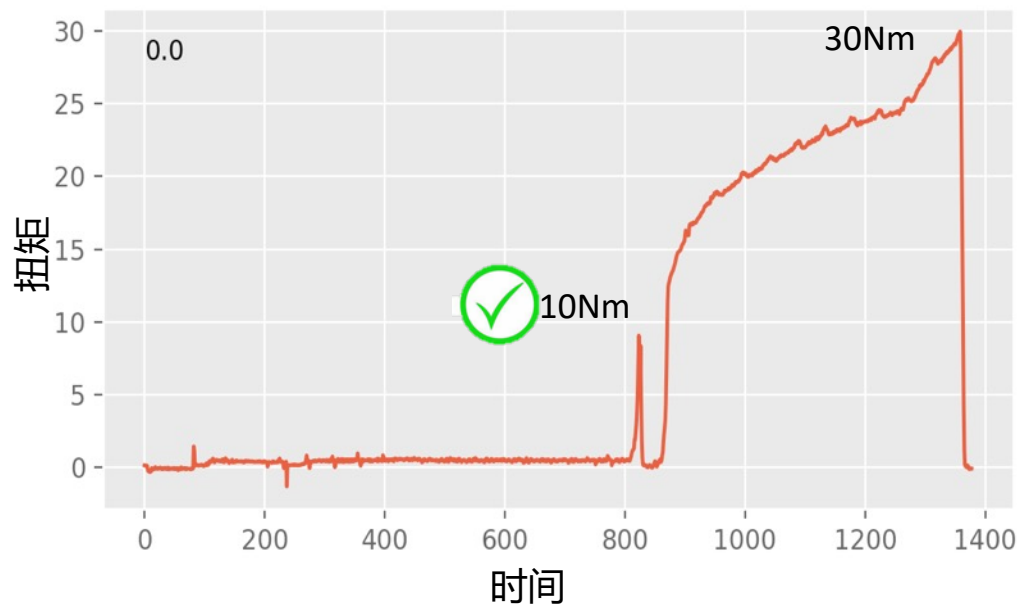
- 采用常用的分类模型LR、random forest、XGBoost等



## 任务二：结果发现

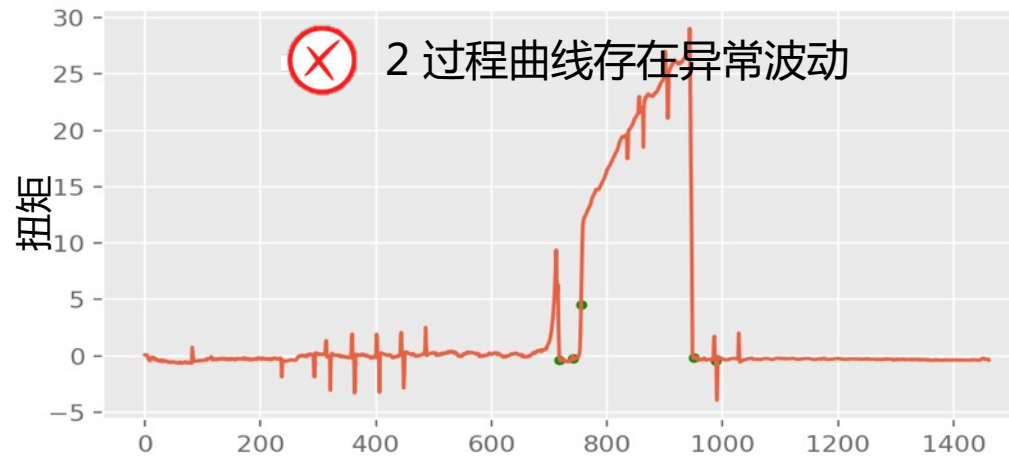
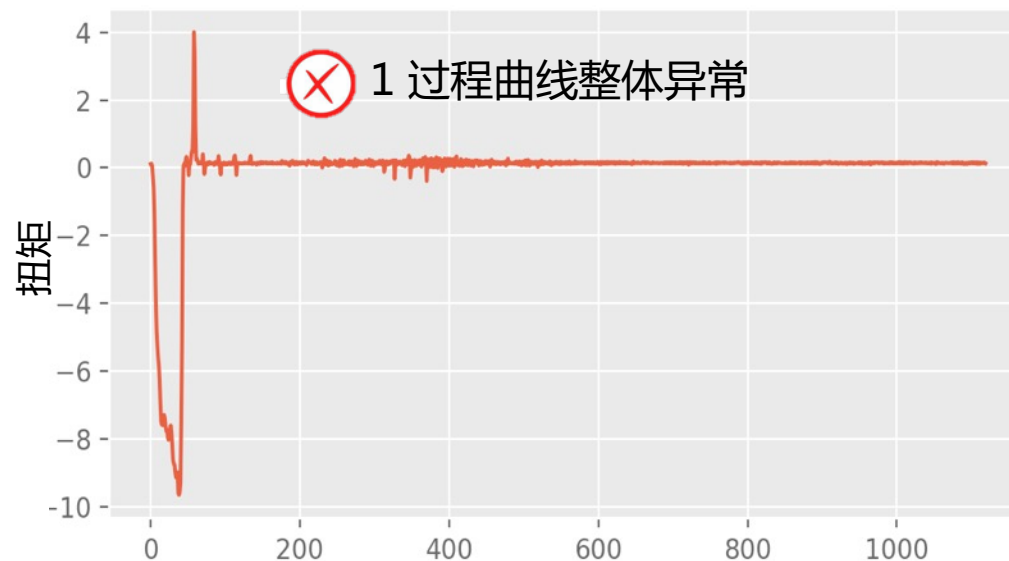
正常曲线：

- 过程曲线平滑
- 关键节点满足工业标准

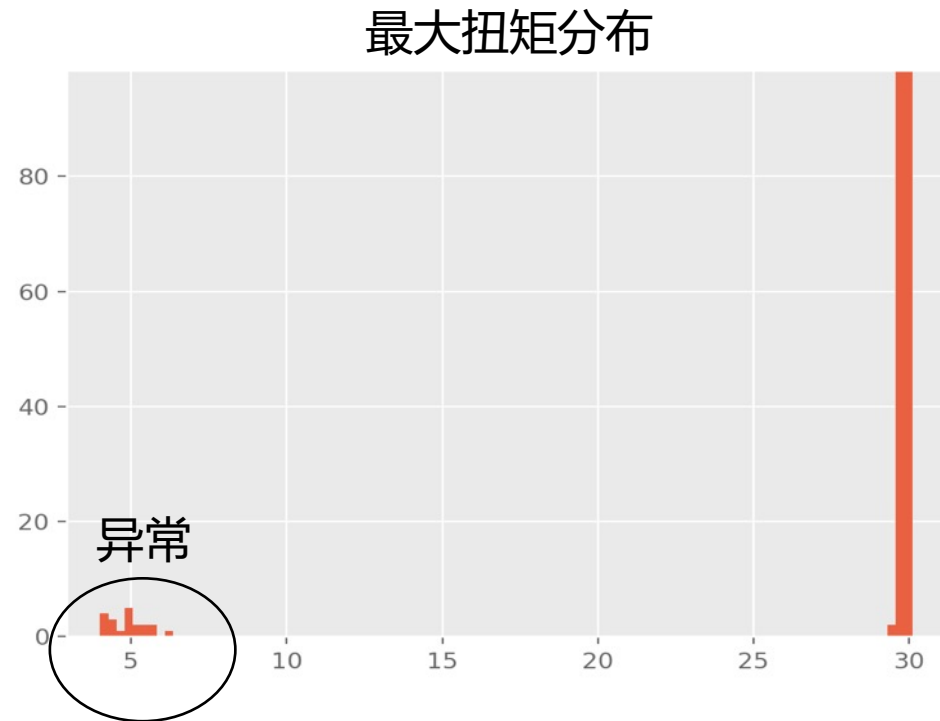
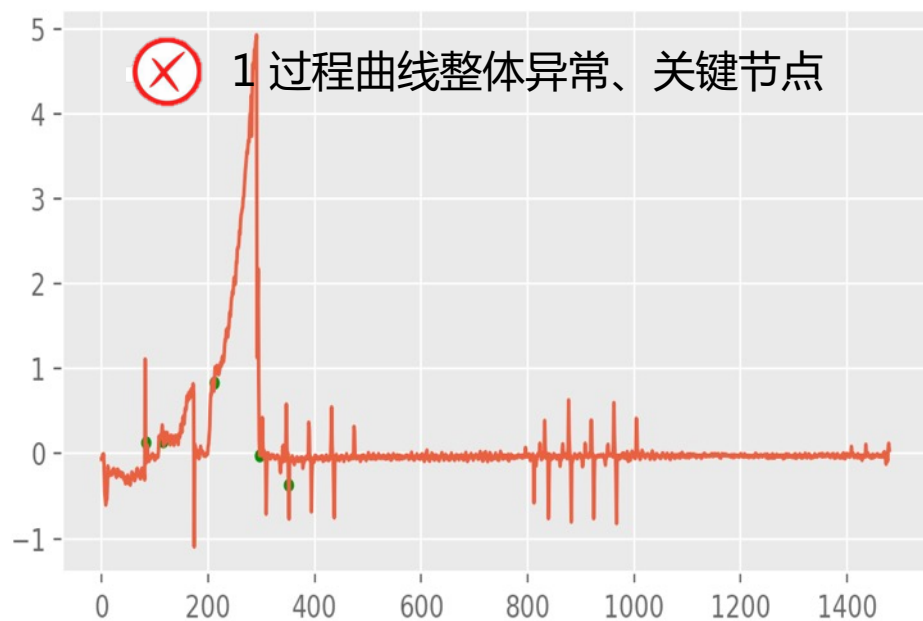


异常曲线：

1. 过程曲线异常/关键节点不满足工业标准
2. 过程曲线异常波动



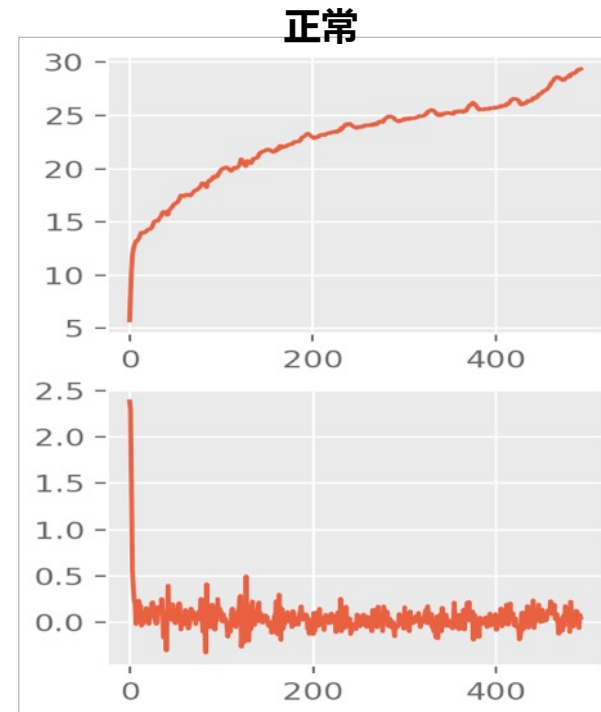
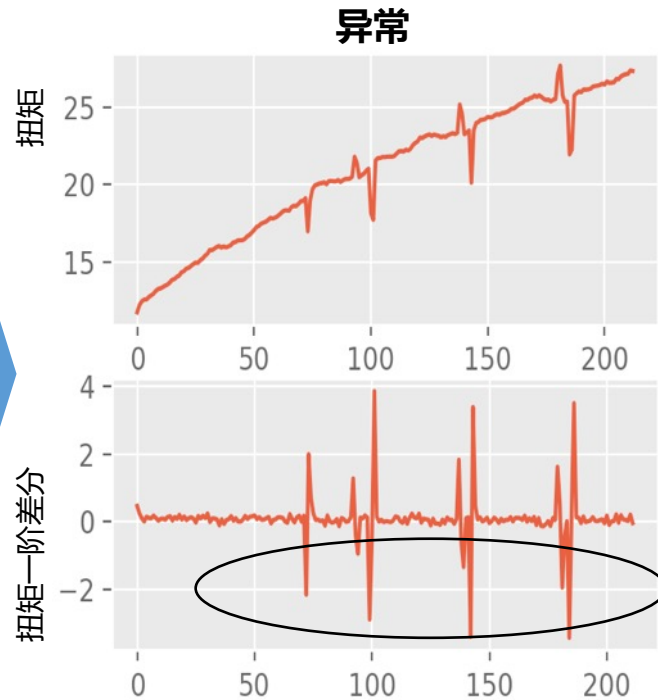
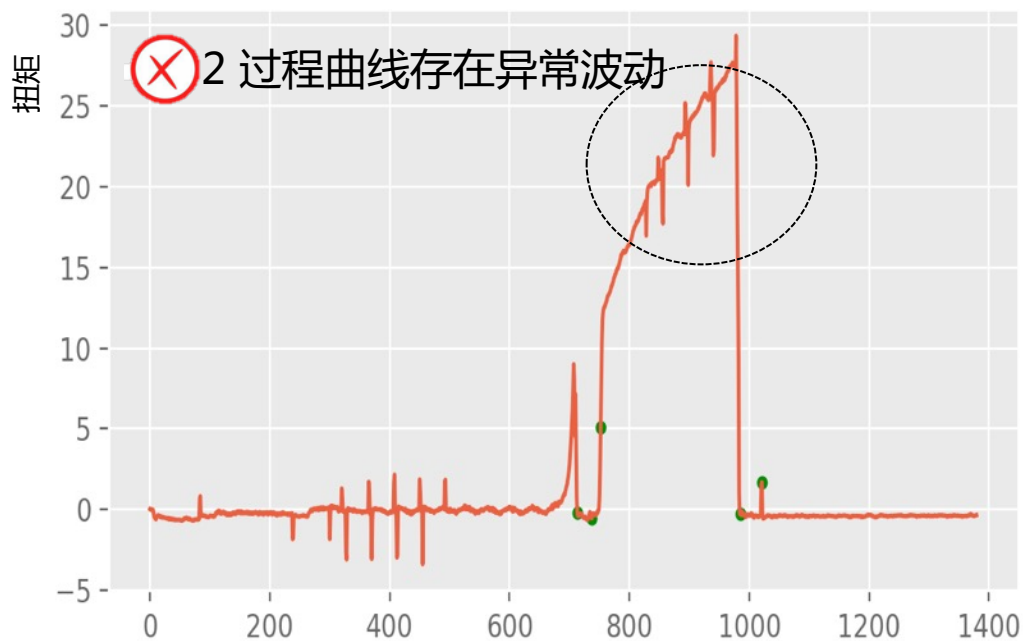
## 任务二：异常类型1-曲线整体异常



判别方法：  
最大扭矩 < 25



## 任务二：异常类型2-曲线异常波动



判别方法：

1. 进行工序分割
2. 计算扭矩的一阶差分
3. 扭矩一阶差分的最小值  $< -1$



# 总结

汽车赛道：样本最大、参赛队伍最多、含AB测试集。

- 通过20个特征、LightGBM单模型的简单、可操作性强的方案实现静态扭矩预测
- 其中，过渡工序统计特征、扭矩反冲、基准调整等优化措施帮助我们取得领先
- 通过阈值与简单模型实现对曲线的两个异常类型进行检测
- 任务本身随机性较强，对于趋势性本身的预测，现在的数据还不足以作出满意预测。建议后续根据实际情况，检查趋势与检测设备或人工因素是否有关联变化关系。

汽车赛道历史排名成绩(截止8.10)			汽车赛道历史排名成绩(8.11起)		
注：该排名为各队历史提交最佳成绩的排名，仅供参考，最终客观分以8月15日12:00提取到的版本为准			注：该排名为各队历史提交最佳成绩的排名，仅供参考，最终客观分以8月15日12:00提取到的版本为准		
排名	队名	RMSE得分	排名	队名	RMSE得分
1	Teletaan	1.87612808867655	1	Teletaan	1.16325026816200
2	X-Explorer	1.92499683982424	2	青春理想队	1.29411264165023
3	梁先生	1.95342306682903	3	周游世界	1.31140291477127
4	Claymore	1.96404551111583	4	Claymore	1.31429944854214
5	嘴爷老师我想吃有机红	1.96484539651787	5	Baitech	1.34329464423199