

厂内运输作业仿真 解决方案



产品定位

- 进行运输作业执行的动态行为建模
- 提供 “运输作业仿真推演引擎”
- 使用生产数据进行驱动
- 分析各种情况的作业效率
- 对作业改进方案进行推荐

仿真最终目的——假设性研究的工具

- 验证——是否可行
- 评估效果——效率指标、可靠性指标
- 发现问题——瓶颈、资源闲置
- 支撑优化——日常调度
- 支撑变革
 - 轨道增减
 - 路网重设
 - 调度规则升级

作业仿真与优化中常见的错误

错误

- 用平均值代替复杂的客观情况
- 用历史随机序列作为假定前提
- 把随机型问题降级为确定型问题

正确

- 研究随机分布，全面考察
- 用历史统计获得分布，重新多次采样
- 保留随机性，进行随机优化

——仿真不可替代

支撑原理：蒙特卡洛原理

- 重复试验逼近真相
 - 单次仿真大概率是典型情况，但不排除仿到极端情况（偏颇）
 - 只有多次重复仿真才能获得全貌
- 局部随机性汇聚成整体的随机性
- 确定的规则汇聚成整体表现的不可知——应对无法一步推算

主流工具——图形化拖拽式建模

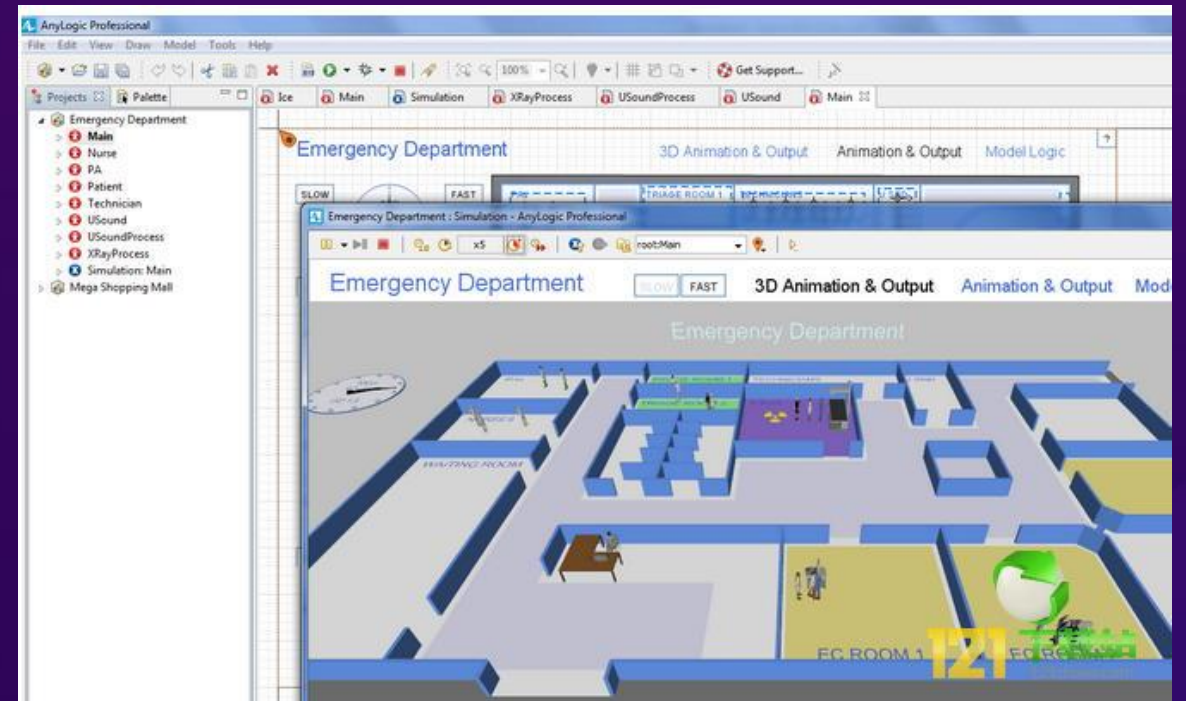
代表产品：Simio、AnyLogic、ProMod

优点：

- 图形化建模
- 所见即所得
- 适于学术研究

缺点：

- 规模大难以图形化维护
- API开放不彻底
- 模型静态，无法业务数据驱动
- 单独购买授权
- 对工程化部署不友好



我们的方案

- 纯代码构建
- 高度模块化
- 开放API
- 自由对接业务数据
- 可批量运行

运输作业计划仿真推演引擎—应用

- 模拟执行给定的作业计划
 - 推算和展示作业指标，对未达到预期情况进行提示
 - 判读该作业计划可兑现程度，对该计划执行过程中发现的异常情况进行定位和预警，并（根据异常判读逻辑）提示异常影响的可能因素
 - 通过可视化（数字孪生）方式，展示未来一定时间内的设备及任务运作情况，展示和定位异常情况，辅助专业人员对资源使用进行优化
- 模拟重现历史的海量作业数据
 - 多层次分析运输作业状况，发现重点路线、重点时间段、重点作业区域
 - 实现控制过程的回溯，包括需求产生复盘、运输过程复盘，并能可视化复现
- 基于生产实时数据，动态跟踪作业计划执行情况
 - 通过可视化（数字孪生）方式，展示实时的吊车及容器情况，并实时计算和展示运输系统或特定设备的效益指标

技术路线

作业逻辑仿真选型：离散事件仿真DES

- 无固定时间步长，时间跳跃取决于事件的发生
- 只关注状态突变点（出发、到达、过程开始、结束）
- 加速比较高，视事件密度可达万甚至更高量级
- 可降级为实时仿真、倍速实时仿真
- 可作为数字孪生的核心
- 不使用Simio/AnyLogic等可视化仿真工具

仿真粒度

- DES仿真——宏观尺度：厂区总体运输吞吐，不涉及具体罐的转移过程
- DES仿真——中观尺度：车-罐-时间-转移事件，吊具容器和轨道的占用和释放，排队
- 孪生仿真——微观尺度：事件的过程—沿路径位移的机动过程，仅用于孪生绘图

仿真粒度的选定与仿真目的有关

宏观

- 开发成本低
- 模型较简单
- 运行最快，加速比最高

中观

- 开发成本居中
- 模型复杂程度居中
- 运行速度居中

微观

- 开发成本高
- 运行慢，加速比低
- 需更多假设、行为、数据
- 可能引入更多误差



是否能精确再现所研究的系统特征

业务要素建模——完全的面向对象

- 轨道：闭锁
- 控制：信号
- 吊装作业点：吊车、容器

随机性仿真与评价

研究范围

- 作业时间波动——可导致调度计划执行的乱序
- 随机业务事件——抽检、故障、维修

研究目的

- 方案可靠性——内外环境不确定性下的表现
- 资源瓶颈、系统脆弱性、风险点
- 细粒度随机性汇聚的宏观随机性

实现手段

- 伪随机采样
- 多次重复试验



时间随机要素

- 作业耗时：吊装、转运
- 需求产生时间间隔

随机要素建模——其他参数值

需求：

- 容器尺寸
- 重量分布
- 运输起止点

车辆工况

- 故障
- 维修
- 充电

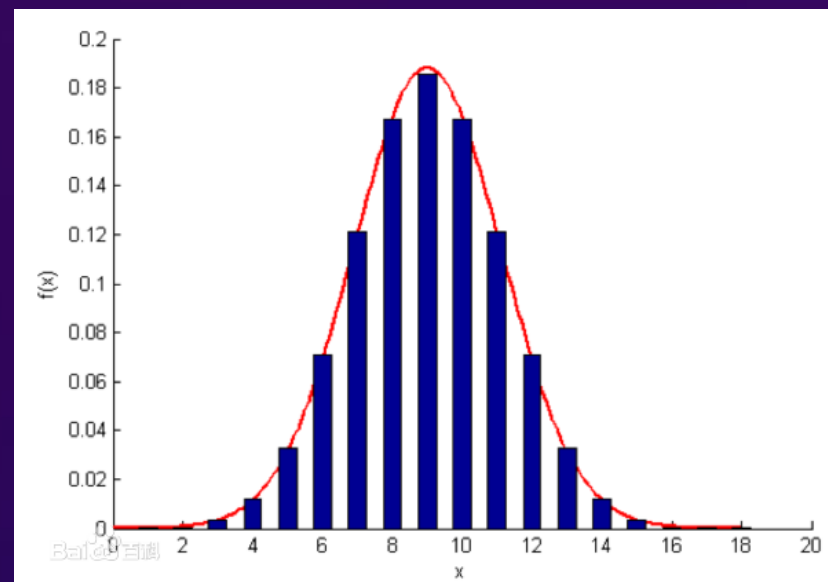
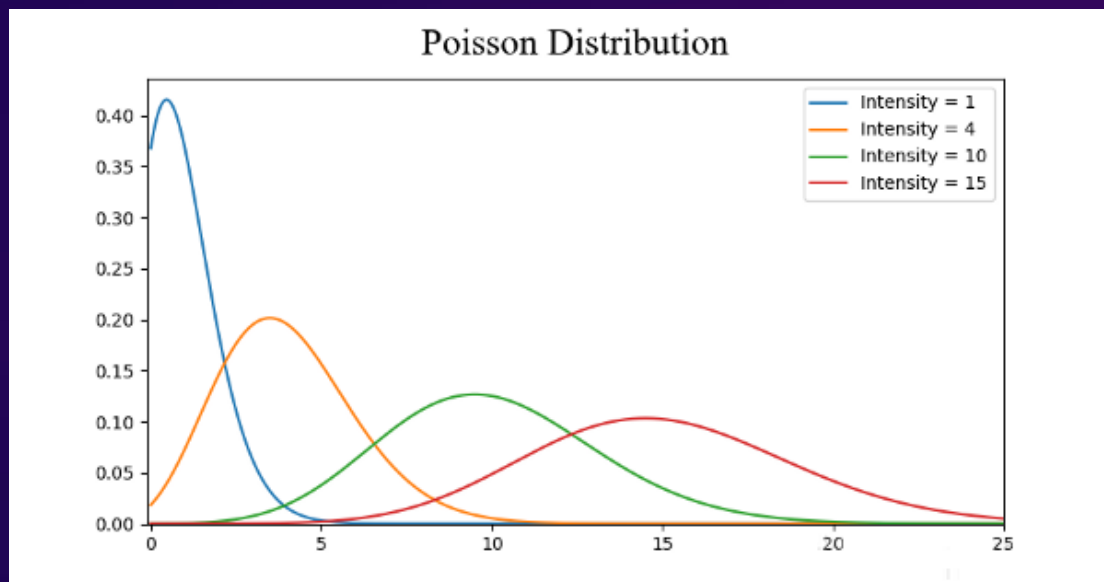
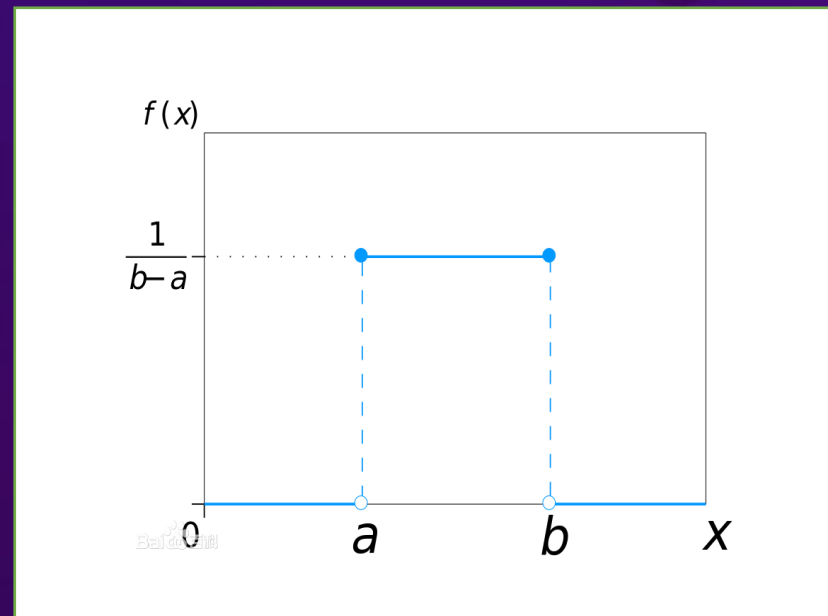
运输路网

- 闭锁状态
- 拥堵

将简单的预测升级为具有客观不确定性特征的综合评价

随机要素建模：时间

- 统计——历史数据
- 测量——厂内实测
- 拟合——最佳的随机分布和参数
- 仿真重现——伪随机数发生器



孪生联动模式一：仿真驱动孪生



- 加速比较高
- 行为比较简单
- 需校准变量较少
- 驱动孪生、微观分解易出瑕疵

孪生联动模式二：孪生微观仿真自行驱动

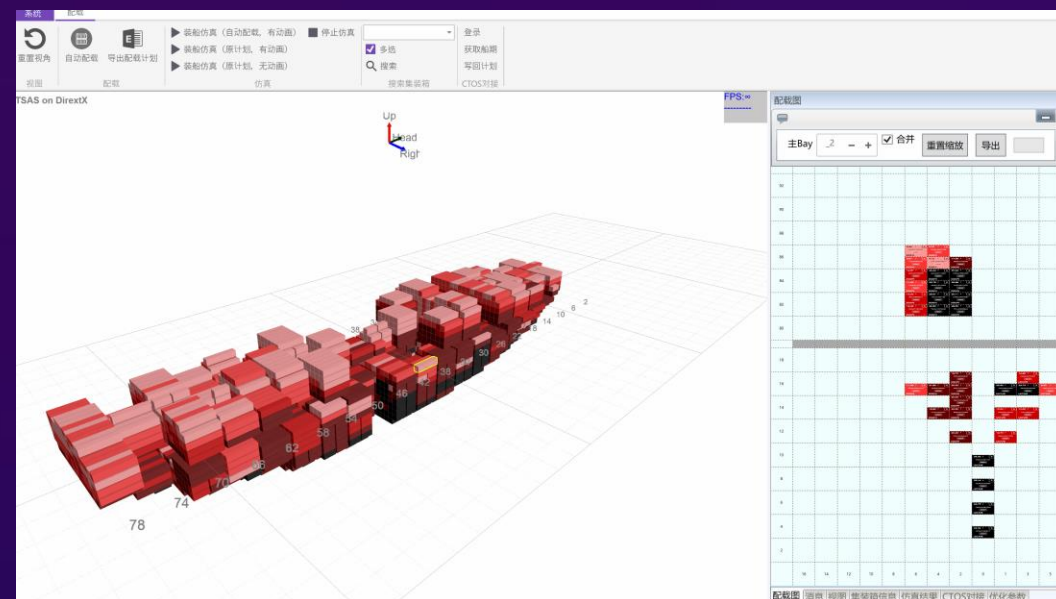


- 加速比较低
- 行为复杂
- 需校准变量多
- 动态过程更为合理

代码积累

- 基于yield机制的极简仿真器架构——解耦，核心与业务、数据分离
- 业务模型：路网拓扑、资源、吊装
- 装卸过程的数据驱动仿真
- 基于DirectX 3D的可变速实时动画

——完成核心引擎开发



一般开发实施流程

- 作业机制调研——规则和流程细节
- 铁轨网、吊车、作业点、容器（确定格式）
- 时间变量统计和测量：数据分析、向专家调研或实地测量
- 业务流程行为动态模型开发
- 仿真驱动孪生开发
- 统计和分析





港口集装箱作业案例



业务覆盖



场桥：简单调度

岸桥：场桥简单调度完成，依据堆场规则已有数据

集卡：任务循环，CTOS集卡调度

闸口：外集卡进出

已实现生产数据对接验证

岸桥作业覆盖：

1. 集卡乱序到达和岸桥下等待排队
2. 切换工作队列
3. 等待队列中选任务。可有按简单规则乱序吊装
4. 使用配载结果
5. 发箱间隔、行驶转运、切换队列、吊装的随机时间消耗，导致进一步错序
6. 多岸桥并行
7. 可配置参数：发车间隔、行驶耗时等
8. 吊装舱盖

岸桥效率仿真进展——输出内容

输入：CLN033W实际数据

- 配载计划（由配载原型系统输出）
- 岸桥配置（取4个岸桥平均分配贝，待完善）

输出：

- 日志Log
- 事件列表（带参数）
- Excel业务效率统计图表

仿真Log示例——适合人阅读

[2022-02-01 00:24:51.47] - 集卡发箱: [742] - (, 62, 7, 88) 至 QC4

[2022-02-01 00:25:08.49] - 集卡到达: [80] - (, 1, 1, 16) 至 QC1

[2022-02-01 00:25:08.49] - 可以开始吊装: [80] - (, 1, 1, 16), 在QC1: (, 1, 1, 16)下方均完成吊装

[2022-02-01 00:25:08.49] - 开始吊装: [80] - (, 1, 1, 16), 在 QC1

[2022-02-01 00:25:15.47] - 集卡到达: [397] - (, 41, 4, 86) 至 QC3

[2022-02-01 00:25:15.47] - 进入队列等待: [397] (, 41, 4, 86) , 在QC3, 因岸桥忙: 等待队列长度0

[2022-02-01 00:25:16.12] - 集卡发箱: [743] - (, 62, 9, 88) 至 QC4

[2022-02-01 00:25:21.46] - 集卡发箱: [744] - (, 62, 15, 88) 至 QC4

[2022-02-01 00:26:19.05] - 吊装完成: QC3, [396] - (, 41, 3, 86), 耗时 00:02:11.6006461, 累计吊装完成数6

[2022-02-01 00:26:19.05] - 检查队列 QC3, 等待队列长度 1, 队列中 [397] - (, 41, 4, 86) 已可吊装, 因(, 41, 4, 86)下方均完成吊装

[2022-02-01 00:26:19.05] - 开始吊装: [397] - (, 41, 4, 86), 在 QC3

[2022-02-01 00:26:22.25] - 吊装完成: QC4, [739] - (, 62, 16, 88), 耗时 00:01:52.3874397, 累计吊装完成数7

[2022-02-01 00:26:22.25] - 检查队列QC4, 等待队列长度 0

[2022-02-01 00:26:24.38] - 集卡发箱: [745] - (, 62, 11, 88) 至 QC4

[2022-02-01 00:26:39.31] - 集卡到达: [740] - (, 62, 8, 88) 至 QC4

[2022-02-01 00:26:39.31] - 可以开始吊装: [740] - (, 62, 8, 88), 在QC4: (, 62, 8, 88)下方均完成吊装

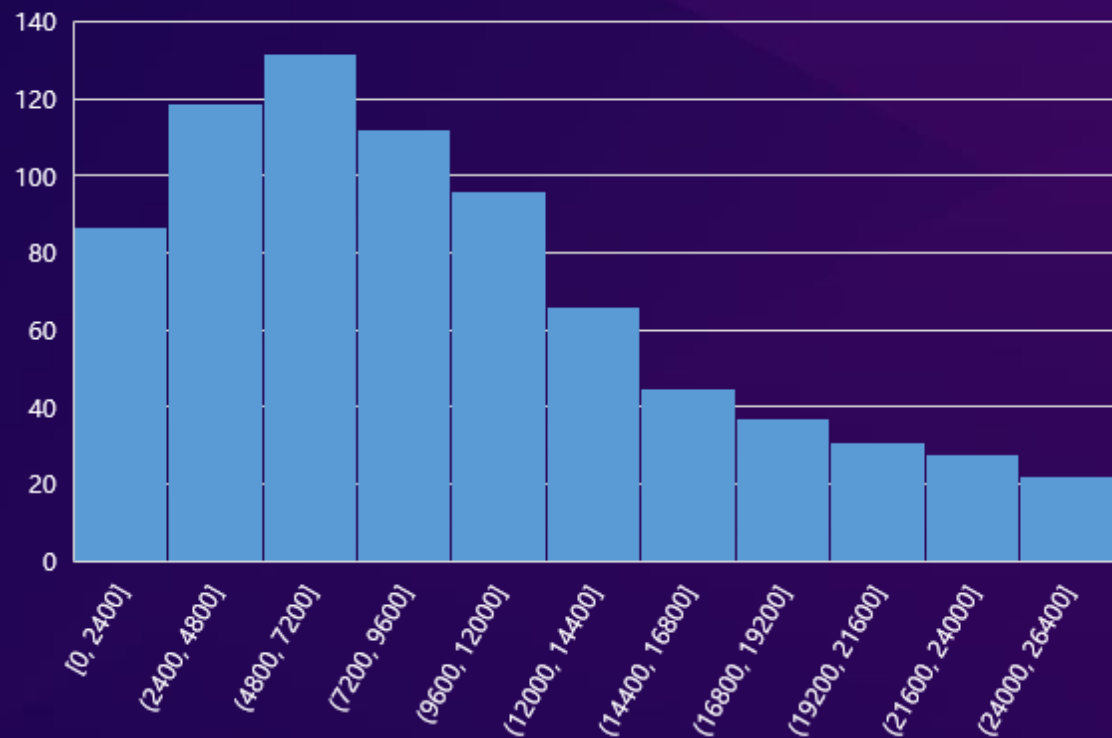
仿真事件示例

- 带参数
- 可查询、可溯源
- 可输出效率指标

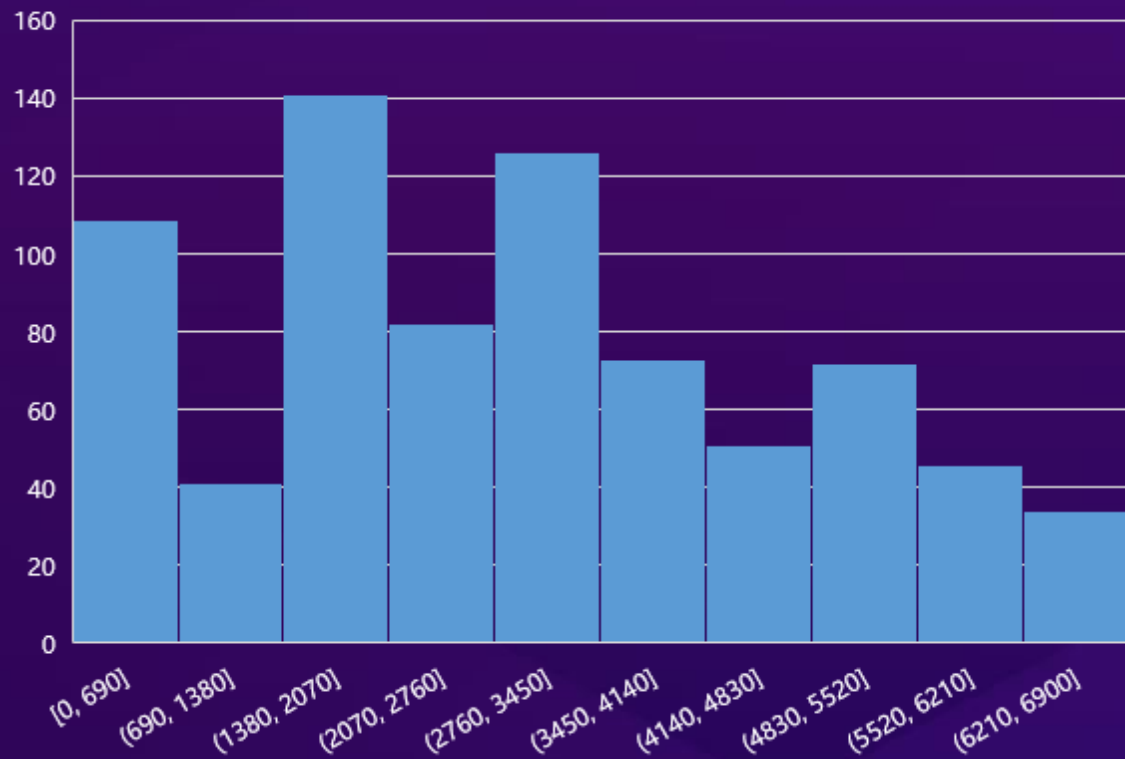
```
{
  "Paras": {
    "QC代号": "QC2",
    "双箱": false,
    "计划箱号": "DFSU7349451",
    "计划箱位": "(, 22, 15, 90)",
    "等待队列长度": 0
  },
  "SimTime": "2022-02-01T00:16:45.829807",
  "EventName": "集卡发箱"
},
{
  "Paras": {
    "QC代号": "QC4",
    "双箱": false,
    "计划箱号": "00LU9617900",
    "计划箱位": "(, 62, 6, 86)",
    "等待队列长度": 0
  },
  "SimTime": "2022-02-01T00:17:02.9737882",
  "EventName": "集卡发箱"
},
```

岸桥效率仿真进展——算例对比

队列等待时长分布（秒）—1分钟发箱间隔

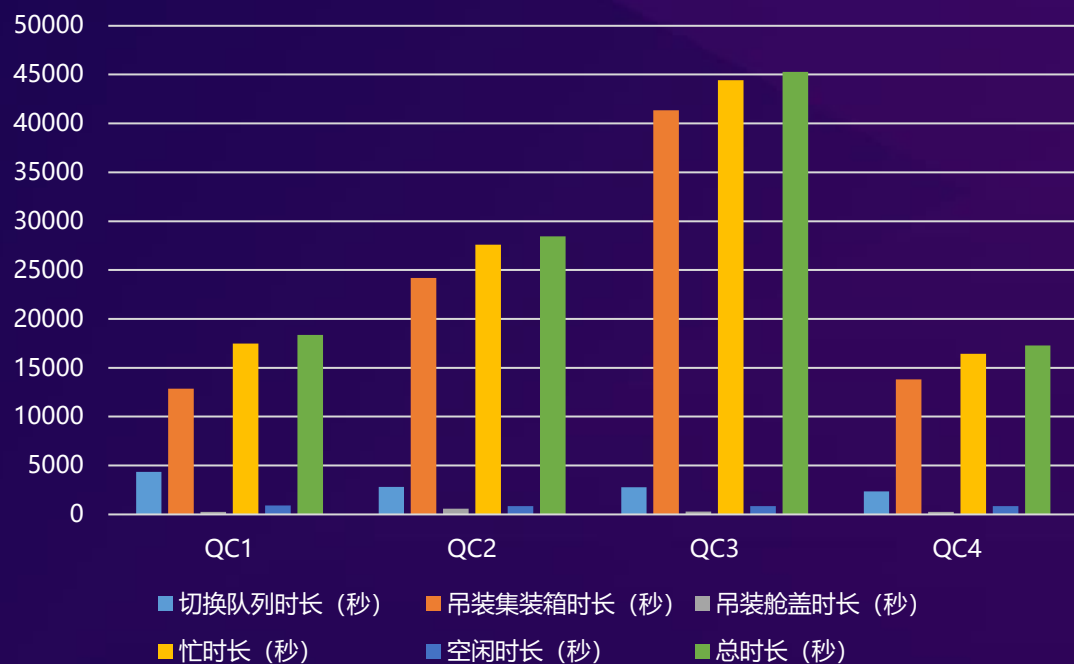


队列等待时长分布（秒）—2分钟发箱间隔

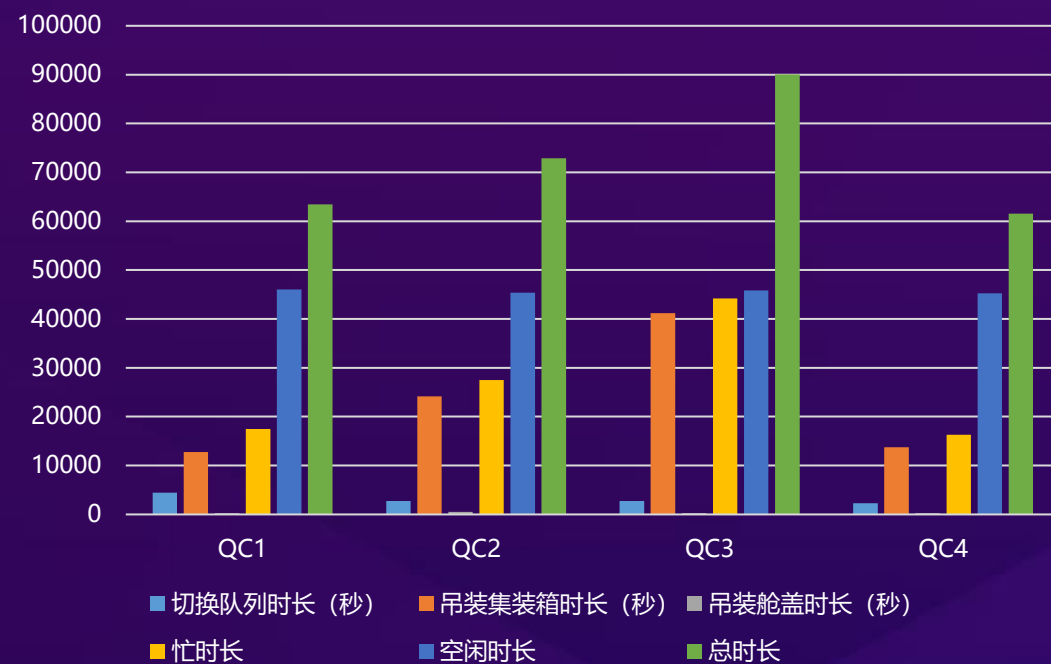


岸桥效率仿真进展——算例对比

岸桥作业耗时（秒）——1分钟发箱间隔

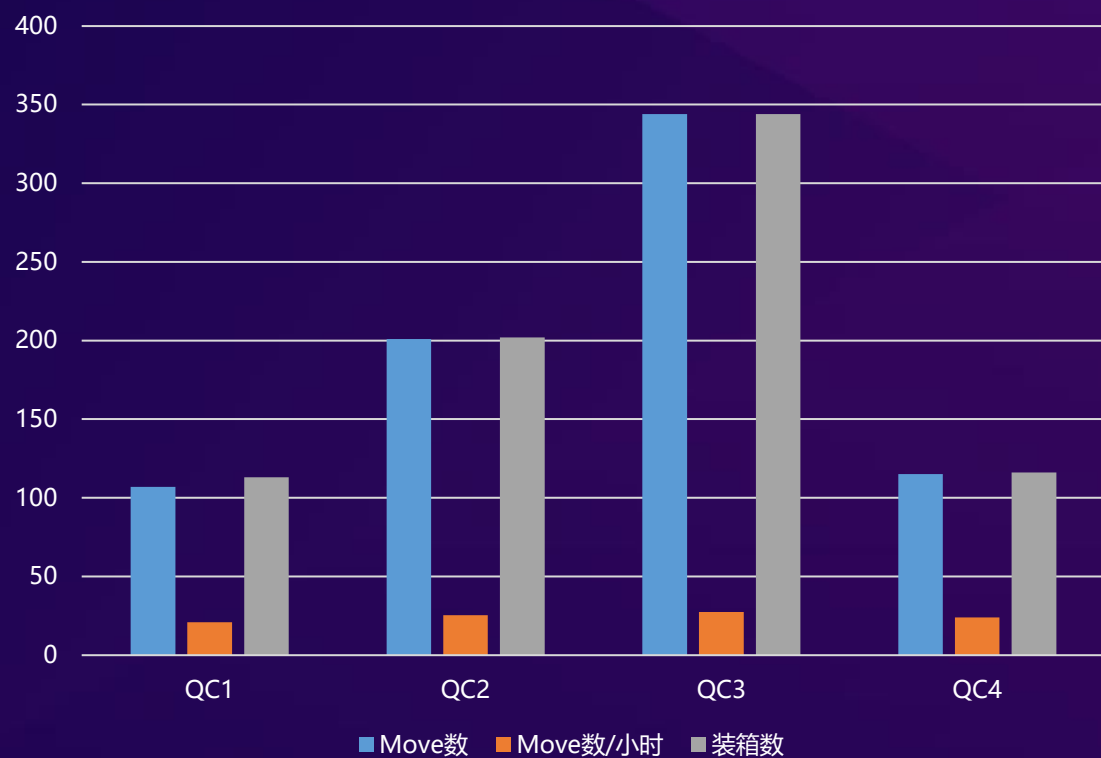


岸桥作业耗时（秒）——2分钟发箱间隔

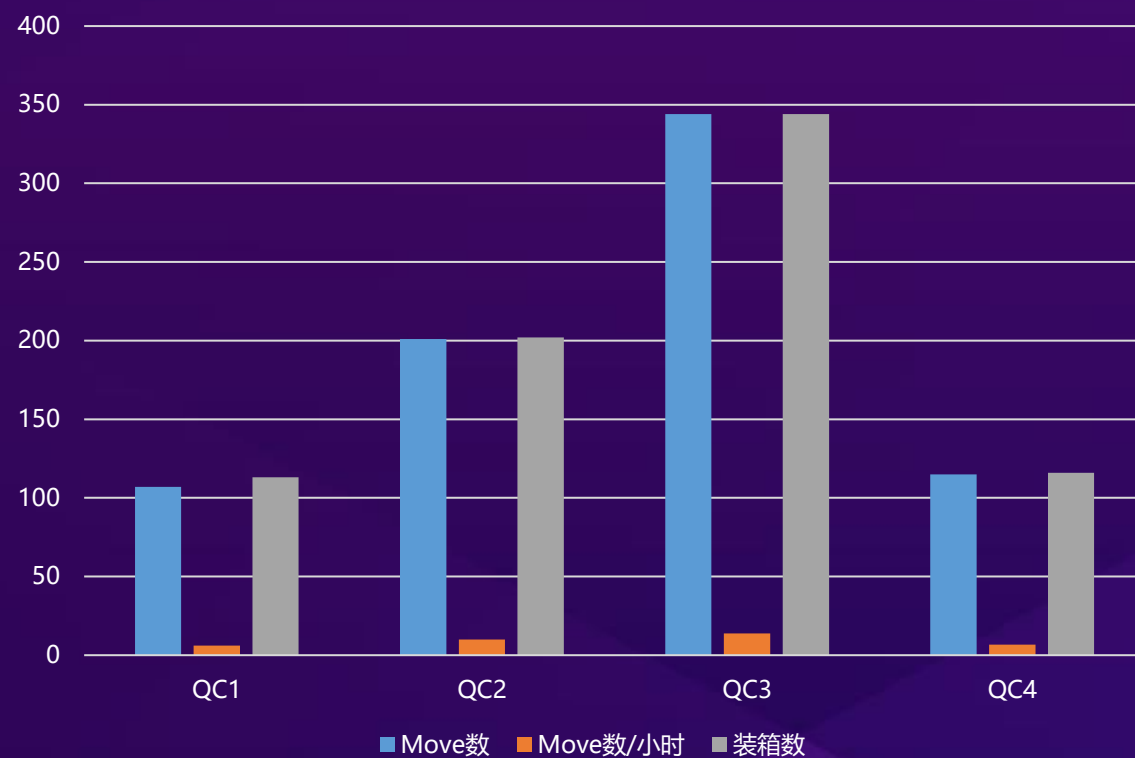


岸桥效率仿真——算例对比

岸桥作业计数—1分钟发箱间隔



岸桥作业计数—2分钟发箱间隔



使用模式

- 设置仿真覆盖时间（历史时间或未来时间），如选定一天范围



使用模式

- 设置作业策略
 - 场桥、岸桥调度策略：规则、参数
 - 集卡调度策略：配车数、规则、参数
 - 时间要素配置

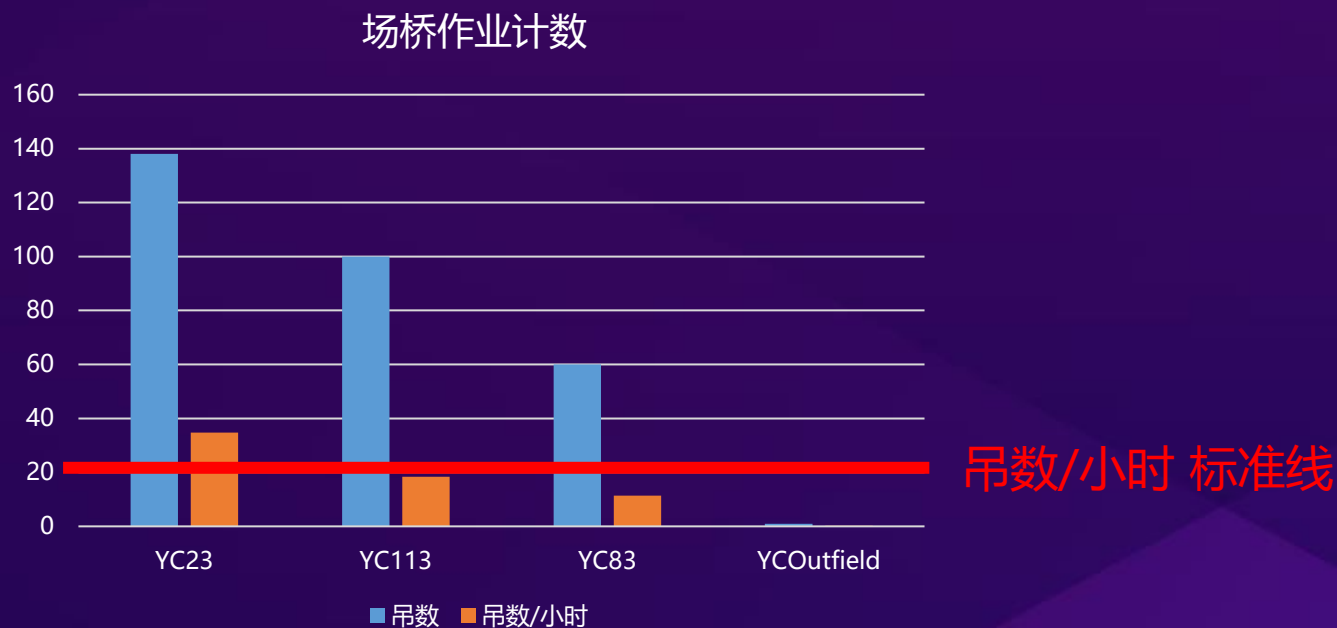
使用模式

- 一键式启动运行，全速运行，可在若干分钟内完成

使用模式

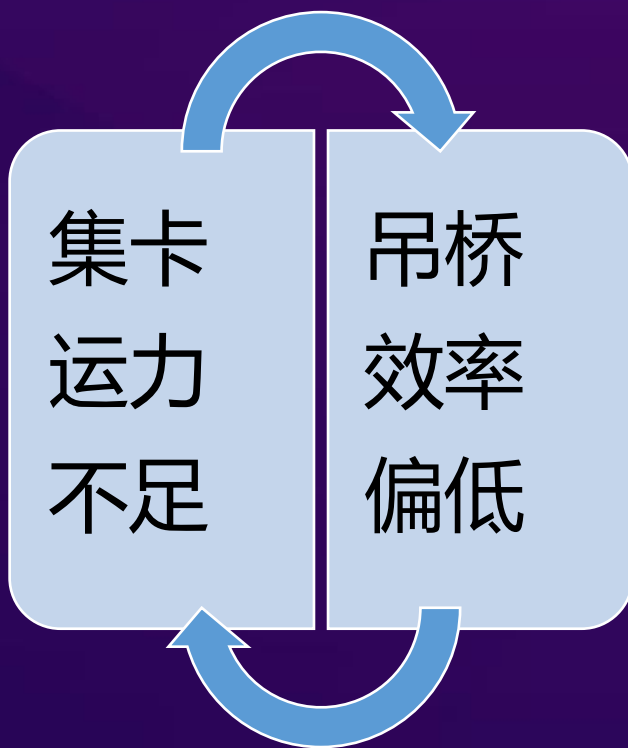
- 查看生成报表

- 时间类指标及超限/不达标情况：排队时间...
- 计数类指标及超限/不达标情况：吊数/小时...

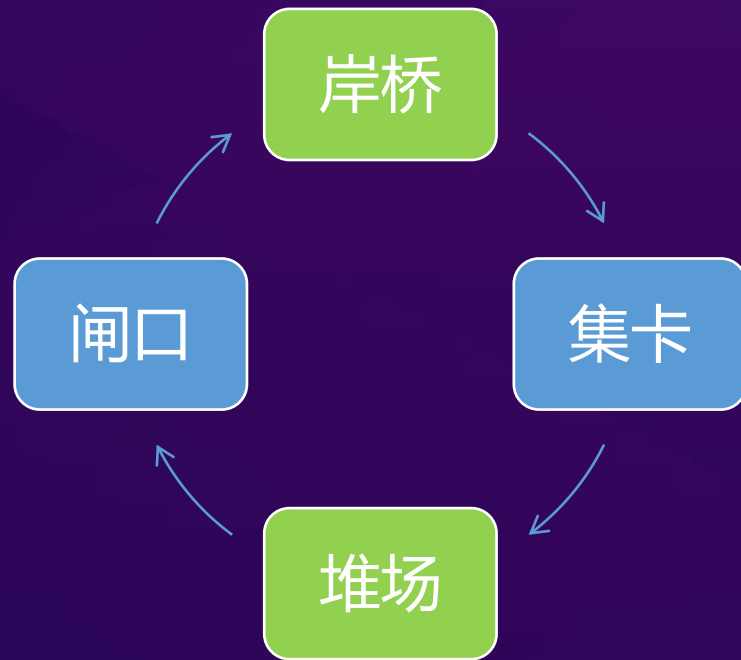


使用模式

- 原因关联分析（仿真后分析，不在本期仿真功能清单内）



业务覆盖



展望

展望——核心挑战

- 仿真模型校核是一个长期过程
 - 行为校核
 - 数据校核
 - 蕴含 “错+错=正确” 风险

展望——挑战

- 复杂逻辑的再现
 - 调用实际系统还是重复实现——成本和准确程度的权衡
- 时间要素的统计、测量
 - 系统无法提供
 - 测量不够

展望——挑战

- 数据分析工作量
- 数据对接工作量
- 人为业务规则
 - 人工决策调度
 - 人工确定的作业分区
 - 非必要闲置时间

展望——技术迭代

- 与业务系统、数据平台协同进化
- 仿真驱动孪生
- 仿真支持智能优化算法——批量仿真
- 孪生——微观仿真适配：机械机动、抓放、移动行驶、道路上的聚集和消散
- 分布式仿真

优化算法



建议



- 仿真作为基础验证手段
- 计划、路网构成作为核心业务进行优化
- 调度算法作为关联业务，后进行对接或开发