



基于高端工程装备工况大数据的数字孪生模型研究

袁雪峰, 三一重工股份有限公司



MATLAB EXPO

内容概要

**数据中心躺着大量数据
挖掘大数据价值**

**系统复杂难优化
工况智能识别因“况”施策**

**物理试验价格昂贵？
数字孪生模型降低研发成本**

背景

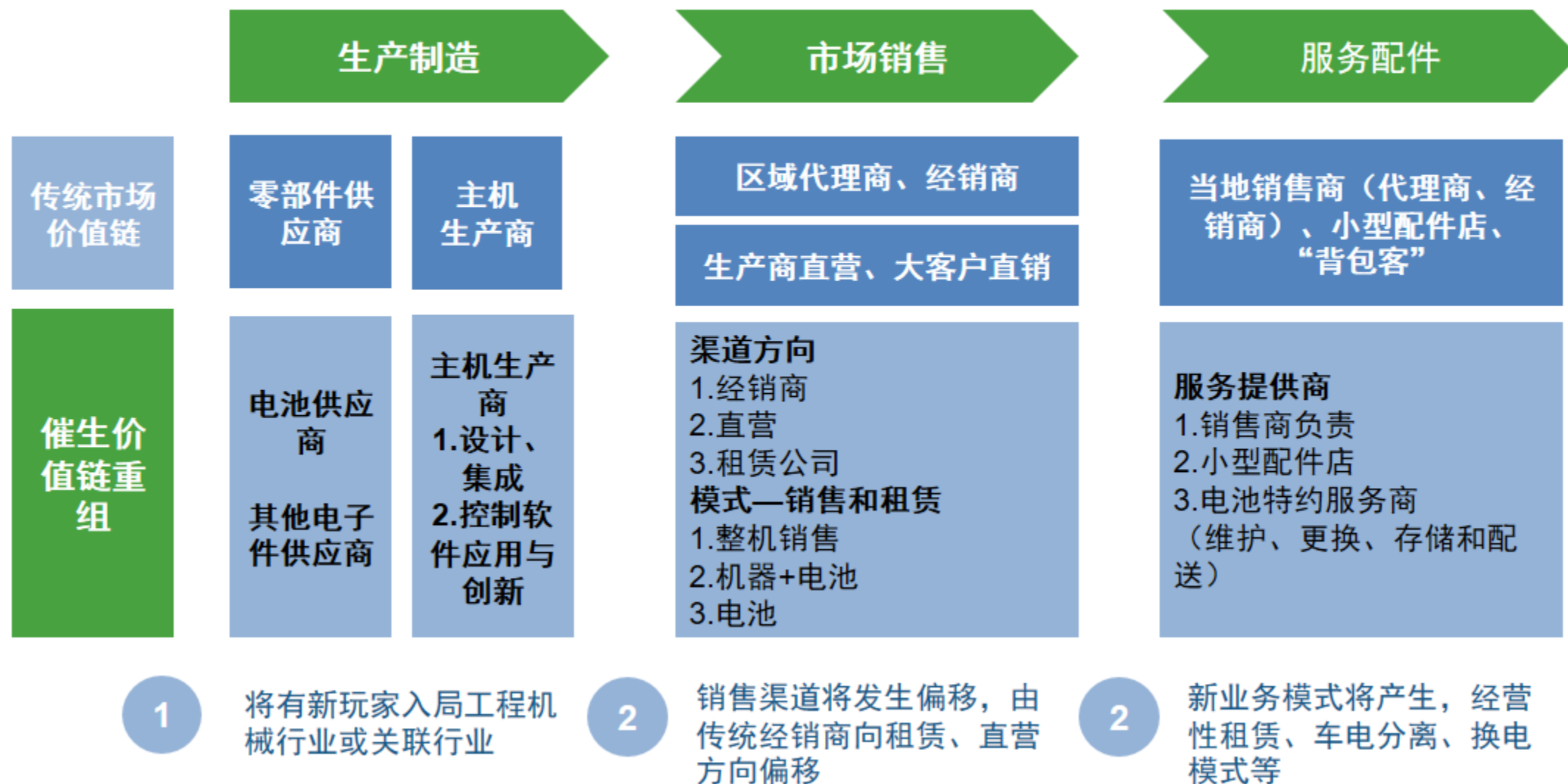
工程机械电动化大势所趋

2021年，“碳达峰”、“碳中和”成为中国社会关注的重点议题，在新一轮产业变革的背景下，新能源工程机械产品是中国工程机械品牌之间竞争的又一新赛道，谁能在新的赛道上取得先机、群雄已准备好开始逐鹿中原。在2020年，国家工信部发布了《推动公共领域车辆电动化行动计划》，推进工程机械电动化，加快工程机械行业向新能源转型 已是大势所趋。

中国基础设施建设带来工程机械市场仍处于高速需求阶段，中国仍然是全球工程机械第一大市场，而工程机械电动化尚处于起步阶段，可谓机遇与挑战并存。



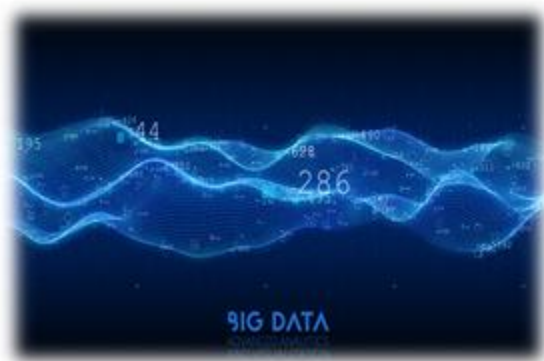
工程机械电动化进程中，价值链上将会涌现新玩家、新模式



工程装备大数据

数据汇集，挖掘大数据价值，一切业务数据化，一切数据业务化。

- 云端数据中心
 - 将分布在全国各地的设备数据上传到云端的数据中心，形成工业大数据。
- 大数据价值挖掘
 - 将大数据转换为资产
 - 降本增效



提升研发效率

设备描述

- 可视化呈现
- 设备管理
- 状态评估
- 运营分析

降低研发成本

设备优化+诊断

- 识别缺陷
- 效率优化
- 能耗优化
- 故障诊断

工况识别

复杂系统实施优化控制困难，在工况识别结果基础上，根据工况类别实施相应的策略提高控制效果。

- 为什么要工况识别？
 - 系统复杂
 - 工况多样
 - 控制困难
- 工况识别价值
 - 工程机械作业工况复杂，准确的识别出设备所属工况及特征，对后续优化产品、优化控制策略具有重要意义。



数字孪生

数字孪生是资产的虚拟表达，以数字化的形式在虚拟空间中构建与物理世界一致的高保真模型。

- 为什么要数字孪生？
 - 物理试验成本高
 - 产品工况复杂多样

- 数字孪生价值
 - 运行优化，缓解风险、降低成本、提高系统效率。
 - 异常检测，数字孪生模型与真实资产并行运行，并会立即标记偏离预期（仿真）行为的运行行为。
 - 预测性维护，在工业自动化和机械应用中，使用数字孪生来确定剩余使用寿命及最合适的设备检修或更换时间。



强度所：机身疲劳试验



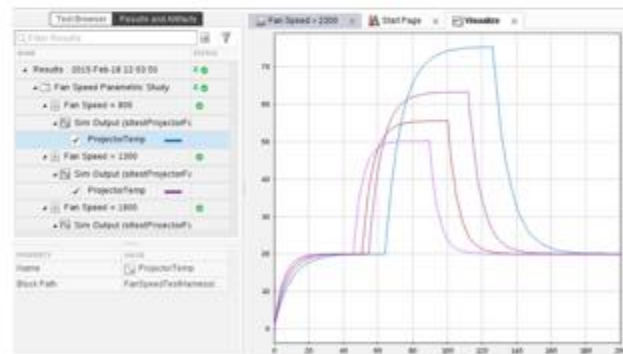
飞机溅水试验



气动院：飞机风洞试验



试飞院：飞机飞行试验



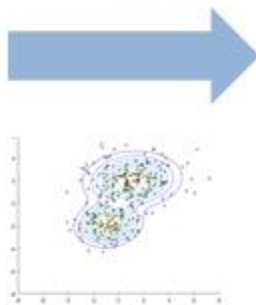
工况大数据与数字孪生模型



设备传感器测量数据



工况识别



数字孪生模型



状态描述



案例-基于起重机工况识别的能量回收仿真研究

· 工况识别整体方案架构

五层递进式分析架构，通过工况识别打通基础数据到应用，实现了数据应用落地，带来实际业务价值。

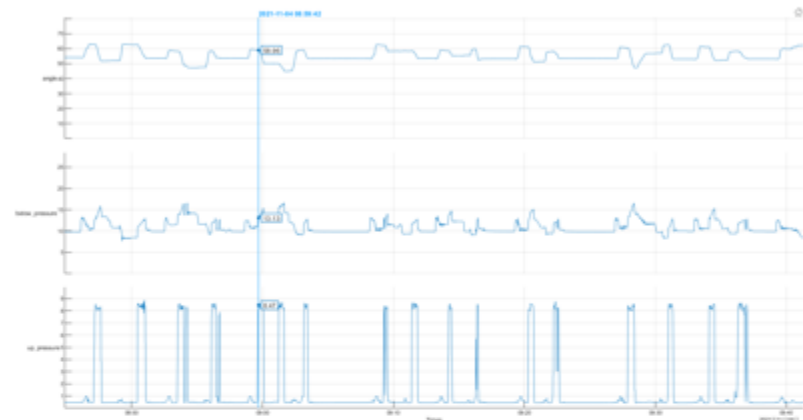


应用层	提升电池续航	能耗优化	优化VCU控制
方法策略层	能量回收策略 油门扭矩曲线标定 VCU控制策略		
工况分类层	作业时刻工况	单次吊载工况	作业时间段工况
工况数据分析层	数据衍生	数据切分	数据分布统计
	数据预处理 数据转换、数据异常值清洗、特定动作识别		
数据准备层	整机基本信息	整机时序参数	环境时序参数

起重机工况数据分析步骤—续

形成工况库固化数据资产，应用工况库进行能耗优化研究与能量回收研究，产生业务价值。

- 单次吊载识别
 - 识别吊载起始时间、过程参数特征。
- 工况库
 - 对臂长、角度、发动机扭矩、转速等分段划分
 - 以吊重、幅度、高度等作为工况变量，动力设备参数作为可控变量，对历史样本作分箱处理
 - 利用工况库中的同工况能耗最优值（扭矩、转速）优化起重机待优化的作业区间。



数据时序分析

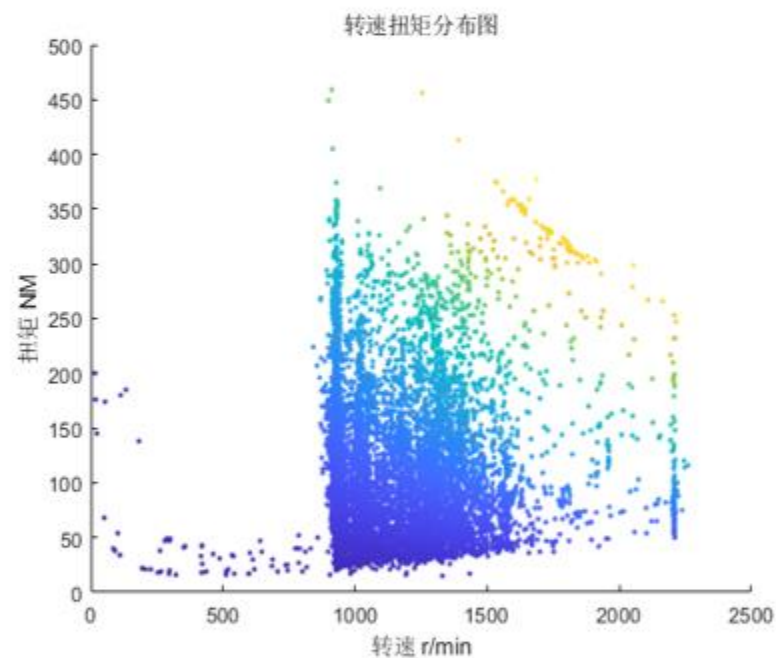
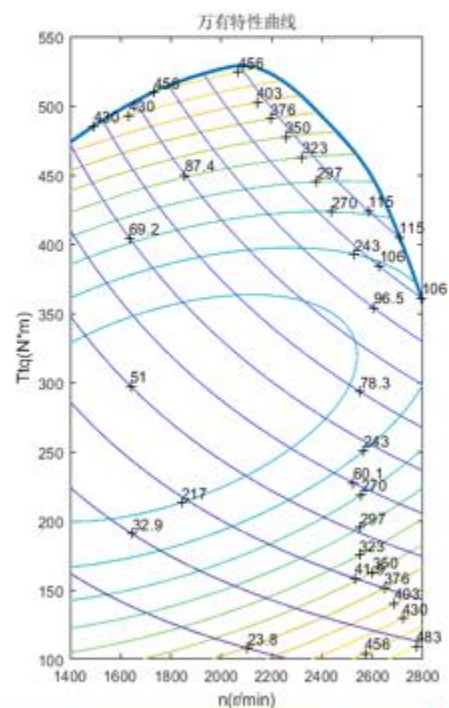
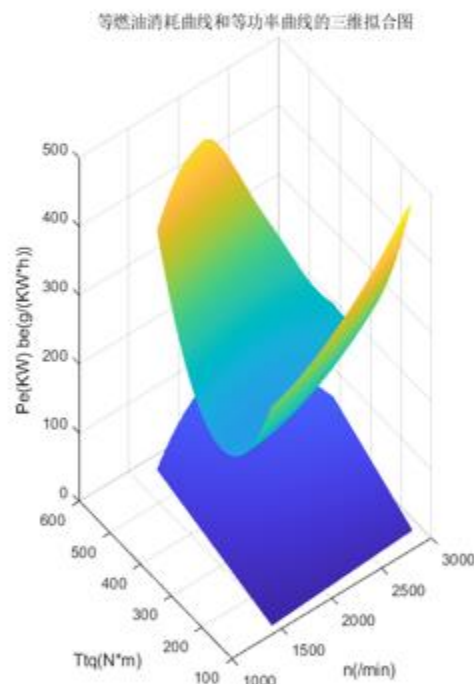
007.mlx | dataidf = 320x13 table

	start	end1	crf	crf_s	weigh	angleh	anglet	main_arm	second_arm	rpm	engine_torque	range	height
1	2021-11-01...	2021-11-01...	0.0608	4.1283	2.2700	77.7200	77.4462	24.7336	2.5247	802	14.8679	4.6813	25.6538
2	2021-11-01...	2021-11-01...	0.0698	2.8294	1.9600	77.5900	77.4769	24.7802	2.5295	800.3529	11.3529	4.6619	25.6995
3	2021-11-01...	2021-11-01...	0.1055	2.7522	1.9200	77.7500	71.4333	24.7414	2.5219	800.2029	11.5072	7.1582	24.8106
4	2021-11-01...	2021-11-01...	0.0459	2.6222	1.8300	61.0400	60.8521	24.7568	2.5227	800	11	11.4608	23.1330
5	2021-11-01...	2021-11-01...	0.2231	4.6416	2.2200	60.9800	47.9801	24.7429	2.5216	801.2139	17.8728	15.7387	19.6523
6	2021-11-01...	2021-11-01...	0.0269	3.8780	2.0200	79.4800	79.4112	24.7644	2.5200	802	15.7600	3.8148	25.8536
7	2021-11-01...	2021-11-01...	0.0661	3.0590	3.0200	78.9000	78.3746	24.6727	2.5201	801.5385	12.7436	4.2804	25.6776
8	2021-11-01...	2021-11-01...	0.1195	1.9287	2.2500	71.7400	68.5191	24.7165	2.5200	344.3543	26.2422	8.4069	24.4886
9	2021-11-01...	2021-11-01...	0.2396	6.3426	2.4200	64.2800	53.2692	24.7231	2.5200	797.5441	23.0221	14.0032	21.0662
10	2021-11-01...	2021-11-01...	0.0513	7.7090	1.9300	38.1700	37.3733	24.7600	2.5300	798	26	18.9662	16.5437
11	2021-11-01...	2021-11-01...	0.0621	4.6563	2.2500	37.6800	36.8565	24.7990	2.5300	799.6458	17.7500	19.1379	16.3748
12	2021-11-01...	2021-11-01...	0.0254	2.6912	1.9300	75.4400	75.2512	27.2453	2.5200	800	11.7647	6.3079	27.8594
13	2021-11-01...	2021-11-01...	0.0172	2.9500	0.9200	78.8500	78.7829	27.2424	2.5200	806	12	4.5229	28.2319
14	2021-11-01...	2021-11-01...	0.1587	3.9120	1.3900	78.8200	65.2691	27.2325	2.5200	803.5479	15.0342	10.4147	25.4732
15	2021-11-01...	2021-11-01...	0.2542	4.6923	1.1800	74.4200	58.4559	27.2698	2.5200	802.5128	17.5897	13.3521	24.1969
16	2021-11-01...	2021-11-01...	0.0207	2.5741	2.1300	60.7200	60.5507	27.2403	2.5200	799.9310	11.0690	12.8852	25.2334

能耗优化策略

□ 转速扭矩曲线标定

根据实际作业场景与发动机特性参数进行匹配，不用增加额外的硬件成本，降低能耗。



1

经济区间分析

2

转速扭矩分布

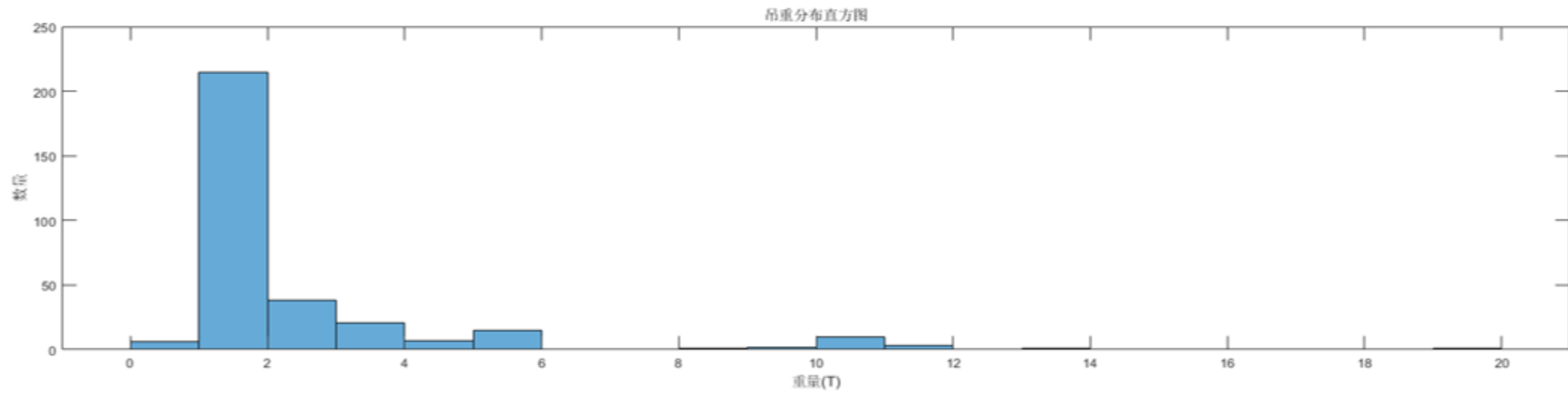
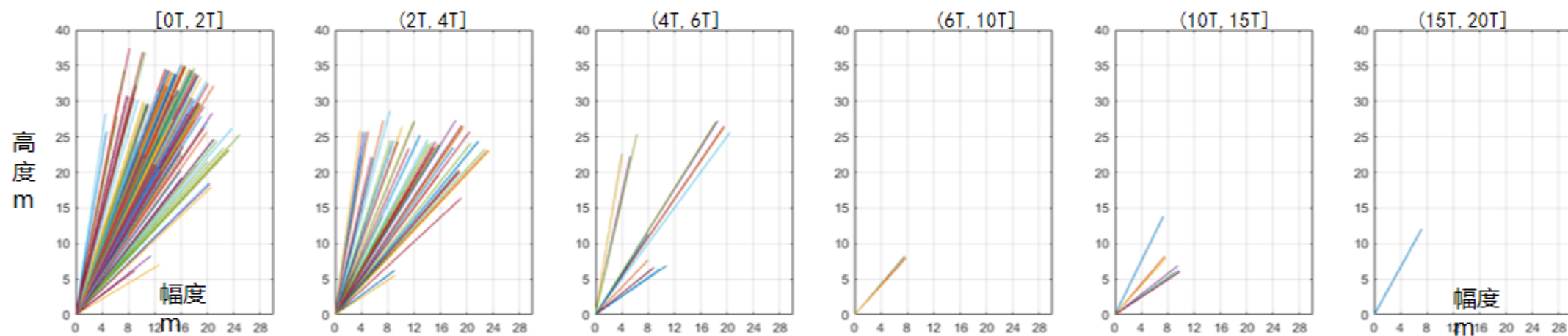
3

修改标定及优化

能量回收策略

起重机姿态工况分析

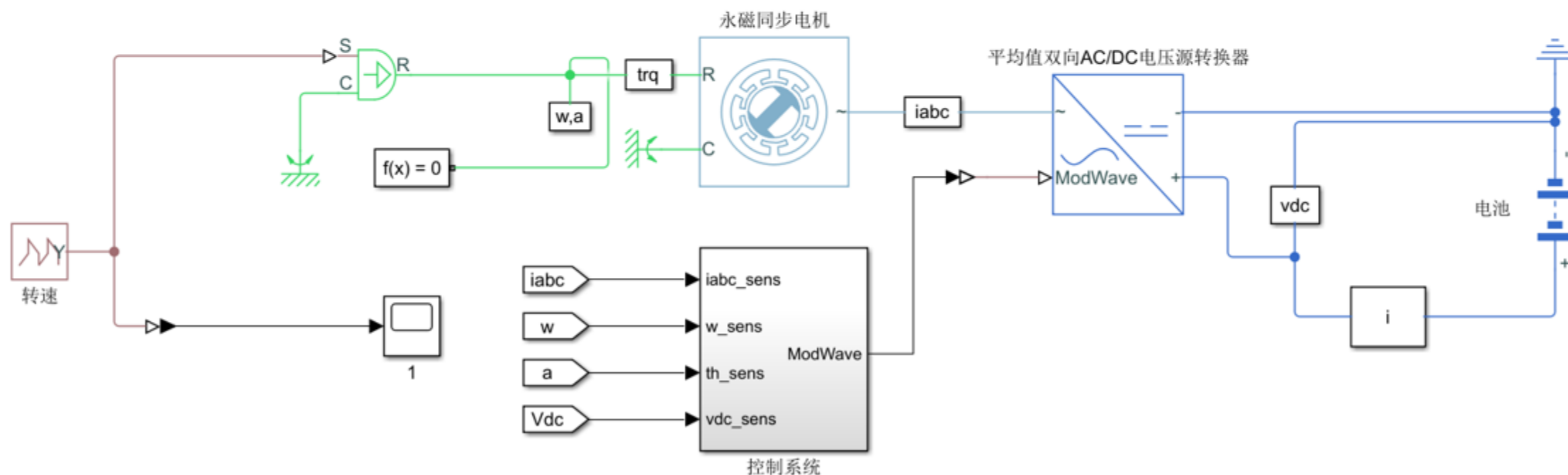
- 分析起重机臂架姿态与吊重之间的分布关系，提取吊重与高度和幅度的分布、占比，为能量回收策略提供数据支撑。



数字孪生模型辅助产品设计

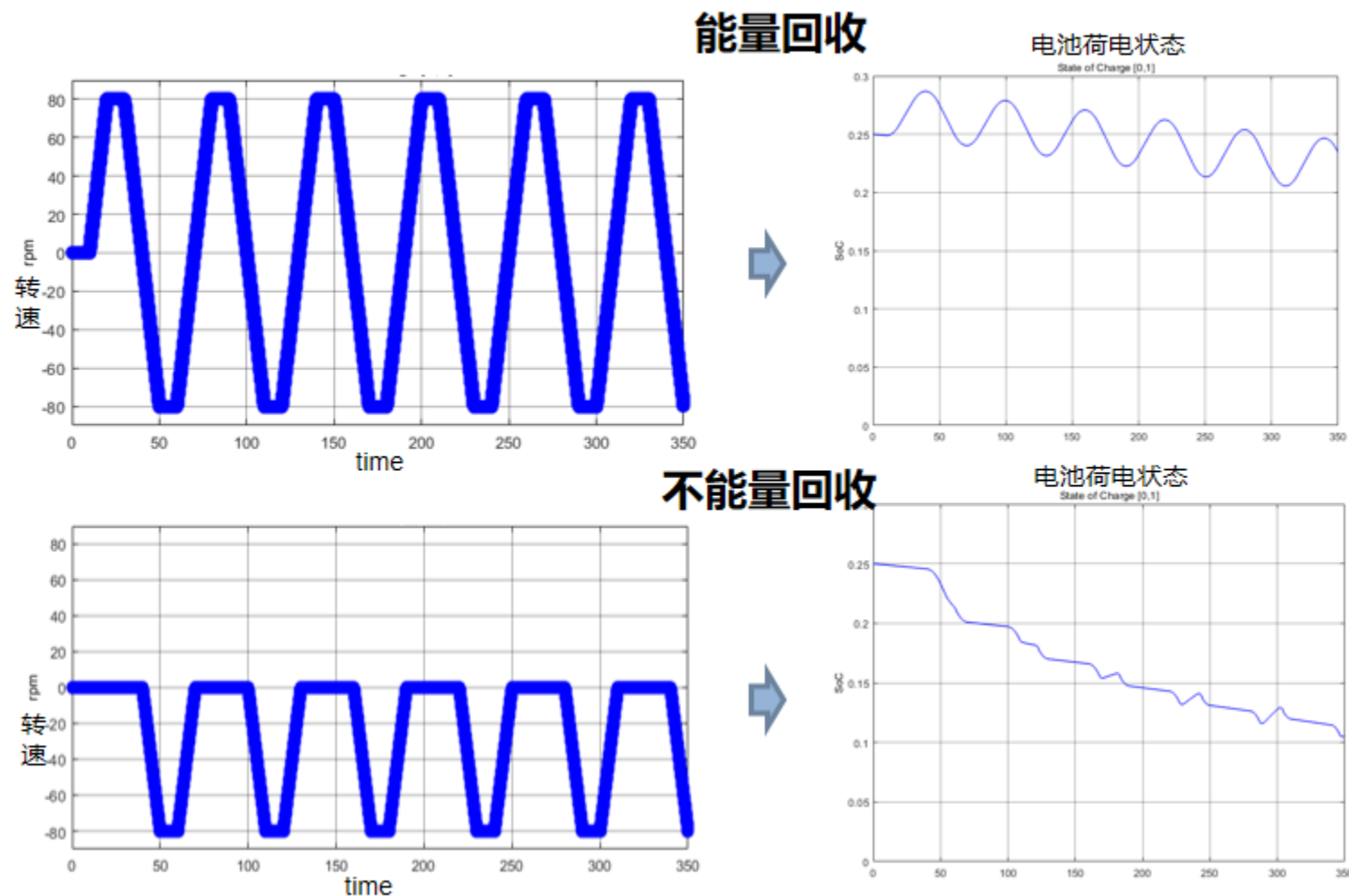
Simulink永磁同步电机+电池能量回收仿真模型

- 利用工况库中常用工况数据，仿真能量回收，辅助产品设计。
 - 利用Simulink搭建起重机能量回收仿真模型，仿真吊起放下循环作业的工况。利用重物重力势能，通过重物下降过程带动电机转动，驱动电机给电池充电。
 - 通过仿真模拟在不同工况下能量回收效率，从而指导控制策略优化。



数字孪生模型降低设计成本

- 结果:
 - 采用能量回收, 在特定工况能提升续航 ~30%。
 - 通过建立Simulink的仿真模型, 可缩短研发周期~40%。
- 优势:
 - 起重机利用重物下降过程的重力势能驱动电机充电, 能够显著提升起重机作业续航能力。
 - 通过仿真不同工况下能量回收效率, 寻找最佳转速比。
 - 通过优化策略刷写VCU控制, 从而实时调整能量回收。



总结

- 大数据是金矿，要挖掘才有价值。
- 工况识别是对复杂系统实施优化策略的关键方法。
- 数字孪生模型降低试验成本。
- 一个好的研发工具事半功倍，MATLAB是正确的选择。

MATLAB EXPO

Thank you



© 2022 The MathWorks, Inc. MATLAB and Simulink are registered trademarks of The MathWorks, Inc. See [mathworks.com/trademarks](https://www.mathworks.com/trademarks) for a list of additional trademarks. Other product or brand names may be trademarks or registered trademarks of their respective holders.