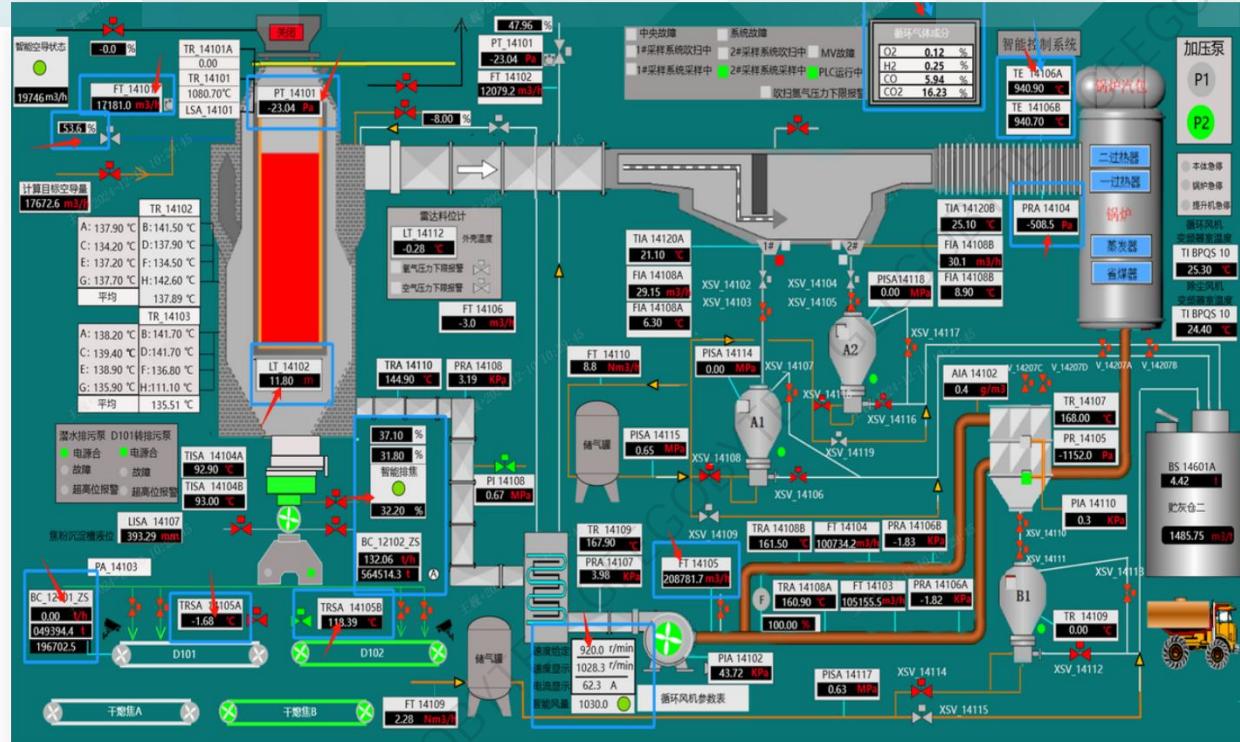


干熄焦余热发电供热过程控制优化 项目可行性研究

GEEGOBYTE
2024.12



I. 项目研究范围与优化目标



优化目标

- 保持系统平稳生产，减少停止排焦次数，停止排焦工况的控制优化。
- 锅炉入口温度稳定保持在理想范围的时间增加。
- 提升自动化控制率，覆盖当前自动化控制程序未能覆盖的生产场景。

研究范围

干熄焦系统大致可分为干熄焦工艺系统及干熄焦锅炉发电系统，两个系统相辅相成、相互关联。循环风机将冷的惰性气体鼓入干熄炉，在干熄炉中红焦与惰性气体直接进行热交换，焦炭被冷却后排出。被加热后的热循环气体经一次除尘器除尘后进入干熄焦锅炉换热。干熄焦锅炉吸收循环气体热量，将锅炉给水加热产生蒸汽，通过蒸汽驱动汽轮发电机组发电。

数据概况

- 数据时间跨度：2024-10-18-14:52~2024-10-26-00:00
- 数据时间间隔：5秒
- 数据采集条数：127528

$$\left\{ \begin{array}{l} \max S = \int_{t_1}^{t_2} p_{[p_{min}, p_{max}]}(T(t)) dt \\ \min N_{stop}, \min T_{stop}, \max \frac{\int_{t_1}^{t_2} P(t) dt}{T_{total}} \end{array} \right.$$

II. 当前运行状态分析 (基于一周的生产数据)

• 干熄焦炉工段状态分析

1. 排焦量

	一周	10月19日	10月20日	10月21日	10月22日	10月23日	10月24日	10月25日	
排焦量	均值	141.74	142.19	143.66	146.34	141.22	139.26	144.21	135.37
	标准差	31.3	38.25	36.68	24.14	23.03	20.03	34.01	35.95
	波动率	22.08%	26.90%	25.53%	16.50%	16.31%	14.38%	23.58%	26.56%
	最小值	0	0	0	0	78.69	0	0	
	一分位数	140.13	138.9	143.19	143.46	133.11	132.9	146.28	134.6325
	中位数	149.16	150.96	149.37	151.32	144.96	143.46	150.96	147.93
	三分位数	156.63	161.1	160.14	157.29	153.99	150.81	156.93	153.96
	最大值	197.61	197.61	182.73	187.56	179.73	189.9	179.79	178.5

2. 排焦温度

	一周	10月19日	10月20日	10月21日	10月22日	10月23日	10月24日	10月25日	
排焦温度	均值	138.56	127.36	145.50	147.22	134.99	137.84	146.01	131.02
	标准差	30.41	34.64	36.27	25.97	23.12	15.41	35.79	29.15
	波动率	21.95%	27.20%	24.93%	17.64%	17.13%	11.18%	24.51%	22.25%
	最小值	0	7.28	12.92	34.27	30.9	111.4	15.51	18
	一分位数	123.72	111.29	135.43	128.28	118.75	126.31	131.18	118.7
	中位数	138.23	132.01	148.49	144.34	133.41	135.38	146.83	128.39
	三分位数	154.6	147.29	163.61	162.47	148.2425	146.26	164.6	145.27
	最大值	299.74	299.74	293.01	285.91	258.97	244.99	285.91	270.32

- 保障生产连续性稳定性**
- 在一周七天时间里，除10月23号外，每天都会出现排焦暂停的情况。初步判断是由于**温度控制需求、设备维护需求、生产调度需求**等原因，对生产连续性进行**人工干预**的结果。
 - 排焦量最为稳定的一天（10/23，均值139.26，标准差20.03，波动率为14.38%），与排焦量最不稳定的一天（10/19，均值142.19，标准差38.25，波动率为26.9%）对比，**两者波动率相差近一倍**。可以见得**排焦量稳定程度**是干熄炉工段生产绩效评估的核心指标。

- 排焦温度最稳定的一天（10/23，均值137.84，标准差15.41，波动率11.18%），波动最大的一天（10/19，均值127.36，标准差34.64，波动率27.2%），**两者波动相差超过一倍**。
- 通过数据关联性分析，排焦温度的波动率与排焦量的波动率呈明显的正相关。可以初步判断，**排焦温度**也应作为关键指标成为该工段的**关键指标维度**，纳入模型建模特征工程范畴重点关注。

II. 当前运行状态分析 (基于一周的生产数据)

• 锅炉发电动工段状态分析

3. 气体总流量

		一周	10月19日	10月20日	10月21日	10月22日	10月23日	10月24日	10月25日
气体 总流量	均值	205865.84	206135.12	205239.56	207931.53	208490.40	204017.88	207235.90	202082.21
	标准差	9188.57	15314.20	10810.52	3908.45	4183.65	3889.15	6519.89	10163.35
	波动率	4.46%	7.43%	5.27%	1.88%	2.01%	1.91%	3.15%	5.03%
	最小值	0.00	45958.82	152038.47	196207.11	197709.59	195279.66	105029.61	144505.06
	一分位数	204185.74	206807.05	205863.73	205292.18	205337.78	201175.19	206231.83	200672.70
	中位数	207319.67	209268.69	207675.51	207897.95	207939.08	202920.18	208305.17	205184.29
	三分位数	210024.63	211573.24	209597.70	210636.93	211386.08	206158.57	210484.01	207656.57
	最大值	220013.34	219536.05	216328.34	219669.36	220013.34	215939.47	219224.11	217033.47

4. 锅炉入口温度A

		一周	10月19日	10月20日	10月21日	10月22日	10月23日	10月24日	10月25日
锅炉入口 温度A	均值	968.95	975.14	972.77	934.52	947.01	991.84	981.30	980.42
	标准差	116.26	19.72	19.35	197.14	180.21	32.67	133.03	30.16
	波动率	12.00%	2.02%	1.99%	21.10%	19.03%	3.29%	13.56%	3.08%
	最小值	-268	904	904.9	-267.98	-268	922.4	-267.98	916.2
	一分位数	973.2	975.5	975.1	974.1	962.375	977.3	992.6	960.2
	中位数	983.6	980.8	981.7	977.5	987.9	993.9	1014.9	981.9
	三分位数	999.1	985.9	983.8	984.9	998.7	1021.2	1020.6	1011.2
	最大值	1368	999.4	989.6	1368	1368	1040.8	1034.1	1022

1. 气体总流量相当的情况下，10月23日的生产中，总流量标准差与波动率分别最低，与最高的一天差距达到了4倍之多。按照参考文献中指出，总流量的稳定性与最终生产发电供热的质量成完全正相关，可以得出结论，10月23日的生产属于高质量生产范畴。

2. 在锅炉发电动工段中，**气体流量的稳定性是影响后续生产质量的核心指标**，应挖掘其强关联性的显性与隐性指标，并纳入建模考量范畴。

1. 一周的生产过程中有五天相应数据均值小于一分位数，这表明这些天出现较大的数据偏离情况。

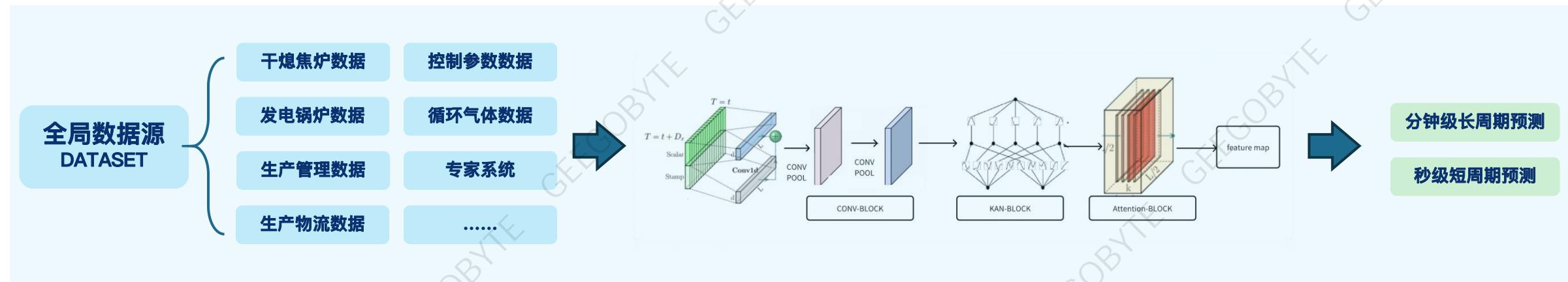
2. 锅炉入口温度最稳定的一天（10/20，均值972.77，标准差19.35，波动率1.99%），波动最大的一天（10/21，均值934.52，标准差197.14，波动率21.1%），**两者波动相差10倍**。这些波动将影响锅炉产汽量，进而影响发电稳定性。

3. 在当前生产过程中，受上游原料供给波动、人机耦合的过程控制柔性化程度的影响，**相关生产过程控制策略尚有一定的优化空间**。可以进一步的提升整个系统的热能转化率，提升生产质量。

进一步提升生产质量

III. 人工智能控制技术选型与系统优化方向

• 基于系统全局数据建模实现核心参数指标长短周期精确预测



• 技术路线解析

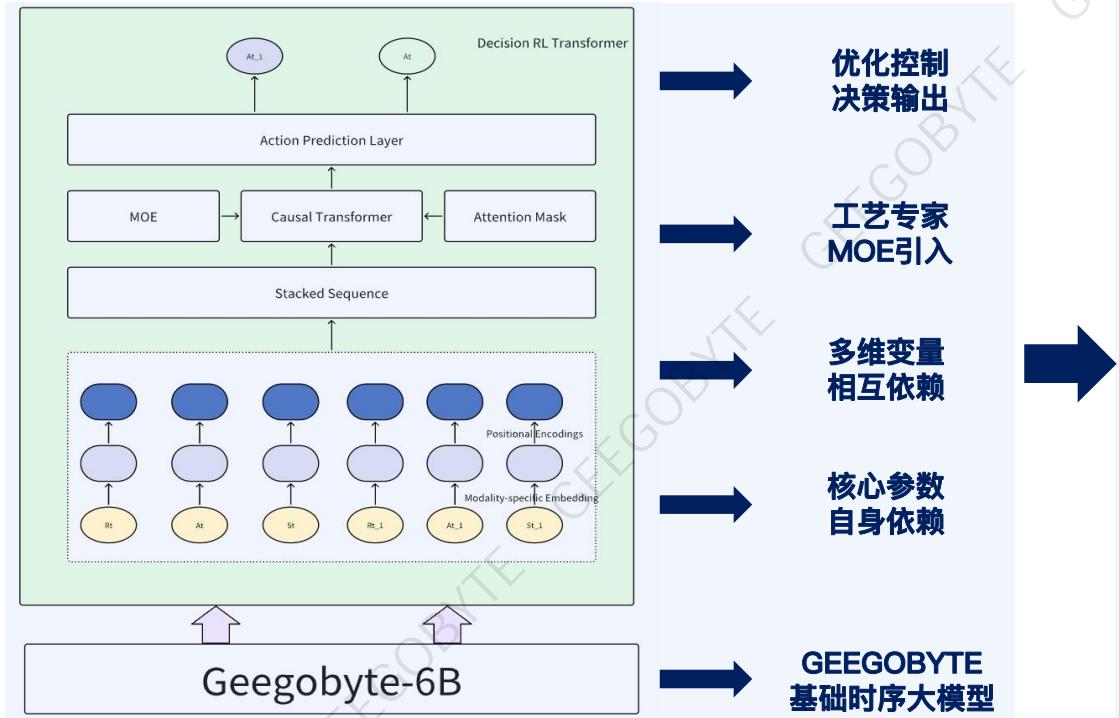
- 局部与全局特征提取 – CNN 模块:** 为捕捉干熄焦系统和锅炉运行数据中的局部特征（如短期温度波动）和全局趋势（如长期料位变化对系统稳定性的影响），模型采用了一维卷积神经网络（1D-CNN）。多尺度卷积核能够同时提取细粒度和粗粒度的特征，为后续的深度分析奠定基础。
- 激活函数可解释性 – KAN 模块:** 在关键变量（如气料比、锅炉入口压力等）的预测中，模型通过可解释激活网络（KAN）模块增强对关键数据点的敏感性。该模块不仅优化了预测精度，还提高了模型对变量影响的解释能力，帮助识别异常数据或极端操作条件的潜在风险。
- 变量自相关性与交叉关系 – Attention 模块:** 基于注意力机制的模块用于建模时间序列中长短期依赖关系。通过结合Informer和non-Transformer算法结构，模型能够有效处理循环气体流量与气体成分等变量间的复杂交互关系，从而提供高鲁棒性的预测结果。

• 长短周期参数精确预测对于系统优化的意义

- 短周期参数预测**（如排焦温度、循环气体流量、锅炉入口压力等）反映了系统在瞬时运行中的动态变化。
 - 实时调控:** 提供及时的调整依据，确保系统在运行过程中保持稳定状态
 - 异常预警:** 通过预测偏离正常范围的短周期参数，可以提前识别异常并采取措施
 - 提高响应速度:** 对操作工艺的动态需求进行快速响应
- 长周期参数预测**（如料位变化趋势、锅炉的热效率、循环气体成分均衡等）主要反映系统的整体运行规律和趋势。
 - 优化策略规划:** 提前预估系统运行状态，制定更科学的工艺调整方案，最大化系统效率和经济效益。
 - 运行平稳性:** 帮助维持关键参数的稳定性，减少波动对整体效率的影响。
 - 成本和能耗控制:** 通过预测能耗与生产效率的长期变化趋势，降低能源和运营成本。

III. 人工智能控制技术选型与系统优化方向

• 基于DRLT (Decision Reinforcement Learning with Transformer) 框架的优化决策



优化控制
决策输出

工艺专家
MOE引入

多维变量
相互依赖

核心参数
自身依赖

GEEGOBYTE
基础时序大模型

优 化 目 标

自动化控制率提高：在减少人工干预的情况下，覆盖生产波动发生的“10%情况”，实现对生产系统的智能化管理，提高控制精度和反应速度。

关键参数稳定：通过持续调节，确保锅炉入口温度、锅炉入口压力、料位和排焦温度等核心参数维持在安全范围内，防止波动对系统效率和设备寿命的影响。

控制鲁棒性提升：对于数据源波动，识别异常信息，保障控制系统鲁棒性。

生产能效提升：在优化调节的基础上，最大化利用上游推焦计划和下游发电需求，提升整体生产效率和经济效益。

相关优化指标目标数值待双方进一步确定

利用历史数据和实时环境信息调整关键参数至关重要，如循环风机的转速、进气阀的开度和瞬时焦炭排放量。通过学习历史数据和环境信息，融合Geegobyte-6B模型的DRLT框架可以实时计算出控制变量的最佳推荐值，以稳定气体成分，降低焦炭燃烧速度，并将锅炉入口气体温度和料位保持在安全范围内。根据每个参数之间的变量关系，并将其与气料比等过程指标相结合，计算控制参数并调整循环风机速度等。此外，干熄焦炉料位和上下游生产维护也会影响焦炭排放率，进而指导锅炉入口温度和循环风机、空气导入流量等调节。

IV. 基于当前数据的基线时序模型表现与优化方向



• GEEGOBYTE-6B基线模型效果评估

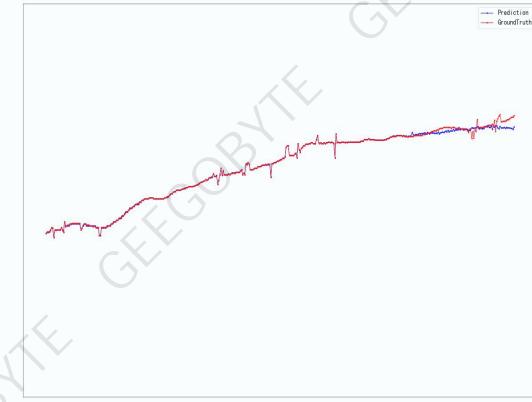
由于提供数据量为一周数据，我们采用了自主研发的热交换基本工艺场景基线模型，并采用数据增强技术，对提供的一周数据进行预处理作为新增数据补入。我们尝试对长短周期参数预测进行baseline模型表现评估，取得了良好的效果，为接下来的项目落地奠定了扎实的基础。

• 显性参数维度表

振幅反馈	风量反馈	排焦量
气体总流量	预存室压力	锅炉入口压力
料位	氧气	氢气
锅炉入口温度A	锅炉入口温度B	振幅给定
风量给定	空导开度	排焦温度B
空导流量	CO	CO2

• 预测基线效果

预测目标	MSE (均方误差)	MAE (平均绝对误差)	RSE (相对平方误差)
锅炉入口温度	0.05	0.096	0.207
排焦量	0.049	0.095	0.205
排焦温度	0.049	0.095	0.204
气体总流量	0.055	0.104	0.216

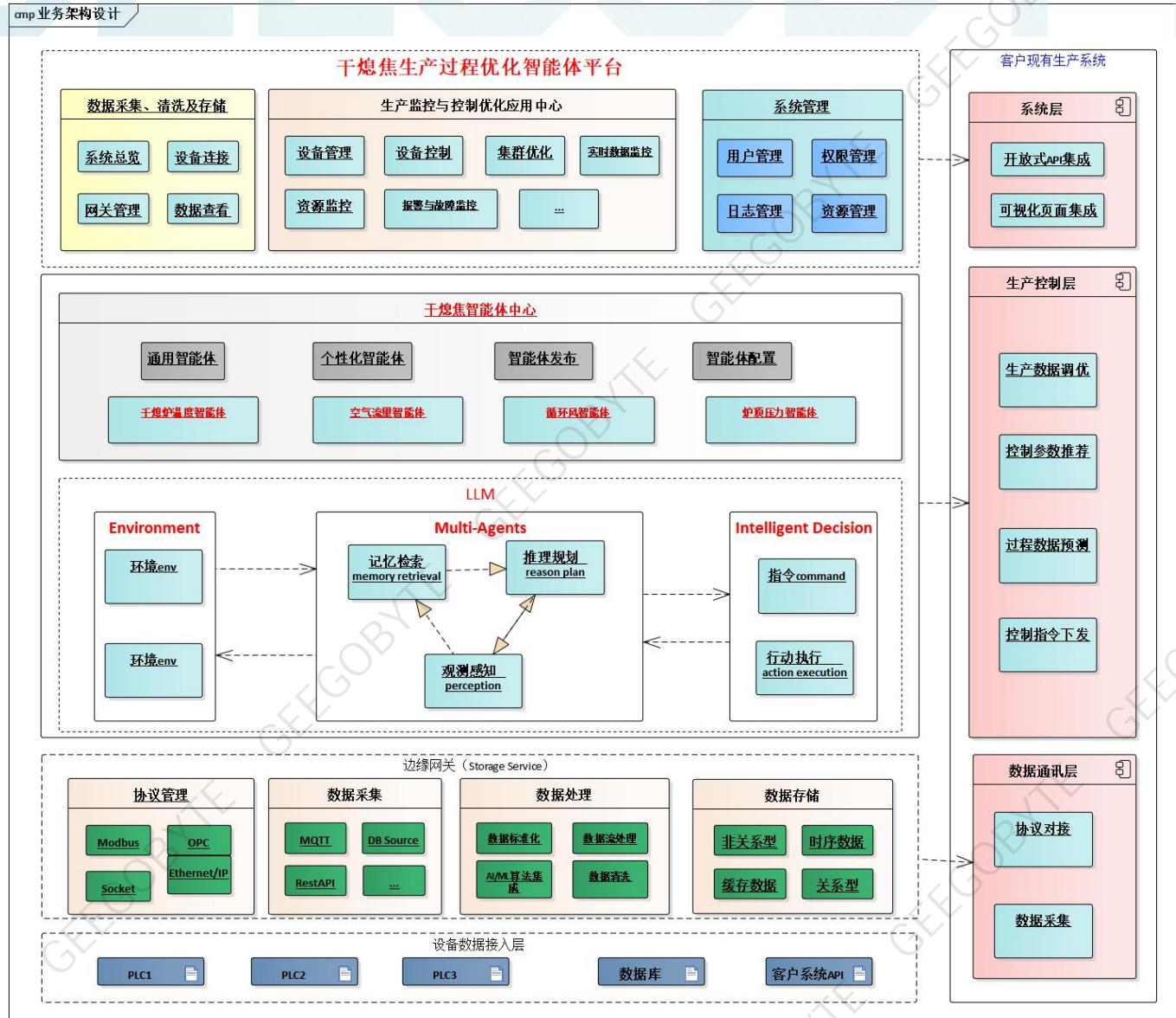


长周期预测效果示例：对未来8分钟锅炉入口温度进行预测



短周期预测效果示例：对未来40秒锅炉入口温度进行预测

V. 项目工程化落地实施方案



系统集成层面：

- ✓ 提供开放API服务，可支持客户系统进行API服务集成开发
- ✓ 提供定制化页面开发集成，客户可直接进行使用，无需开发操作页面

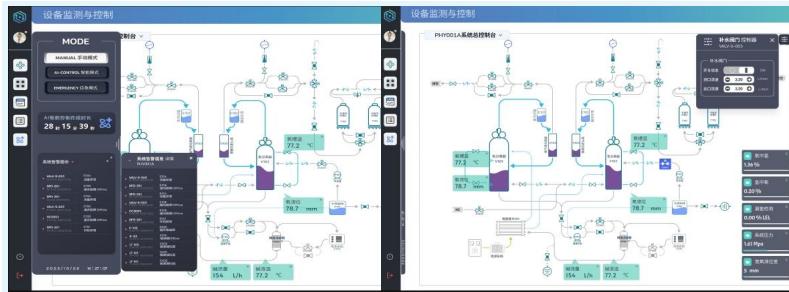
生产过程优化控制：

- ✓ 通过各生产环节智能体，提供生产数据调优建议，提供给现有客户生产操作环节
- ✓ 提供操作控制参数推荐值，现场生产操作可根据智能体推荐值进行设定修改
- ✓ 可直接对生产设备下发相关控制指令，AI自动控制相关生产设备（客户系统需配合联合开发）

数据通讯层面打通：

- ✓ 支持多种标准化PLC通信协议，如OPC、OPC-UA等，可直接对接设备PLC，进行数据交互；也可对接客户的DCS等现有系统资源。
- ✓ 数据采集，主要支持智能体对生产数据的应用计算环节，依赖实时数据进行相关优化。

VI. 交付产品内容



GEEGOBYTE工业智能体平台

- 时序大模型集成
- 工况实时感知
- 过程控制参数推荐
- 优化收益实时分析
- AI全自动优化控制
- 智能体边缘自学习
- 系统主备热更新
-



✓ 模式一：产品平台集成交付

✓ 模式二：时序模型MaaS集成交付



GEEGOBYTE工业生产过程仿真平台

- 生产工况实时透视
- 模拟操作培训
- 设备故障诊断与预警
- 车间管理决策优化
- 生产过程仿真建模
- 节能减碳追踪分析
- 生产效能绩效评估
-

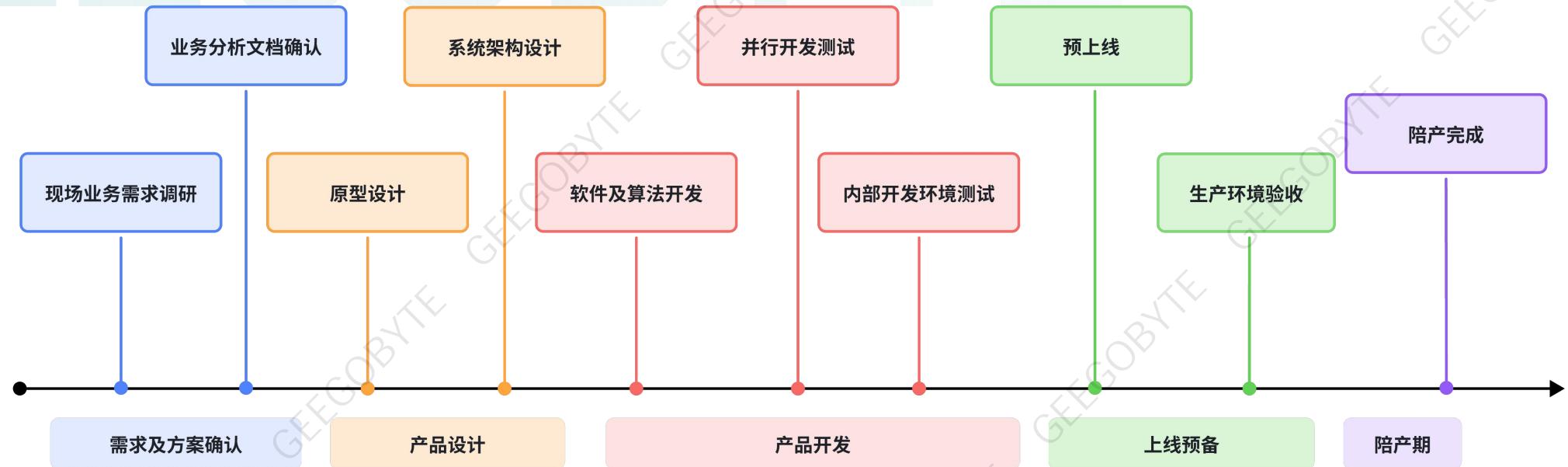
GEEGOBYTE工业大模型GPU终端

- 消费级轻量化GPU架构
- 高效能耗比
- 边缘并发计算能力
- 高速工业网络支持
- 工业级硬件标准
- 场景定制化OS
- 多协议设备/系统接入支持
-

VII. 项目执行计划



项目总周期约4个月



业主方	<ul style="list-style-type: none">内部立项商务合作协议补充长周期数据	<ul style="list-style-type: none">项目启动会确认测试方案确认需求文档内容确认原型概要设计	<ul style="list-style-type: none">项目组成员参与项目双周例会跟进代办事项配合日常开发，提供技术支持提供测试环境	<ul style="list-style-type: none">提供验收测试环境根据测试方案确认验收结果
极峰智能	<ul style="list-style-type: none">预研结果汇报技术团队的现场调研新增数据需求配合商务协议签署	<ul style="list-style-type: none">拟定测试方案产品PRD文档技术文档编写与业主方沟通确认原型概要设计	<ul style="list-style-type: none">双周例会汇报开发进度按照二级开发提供各阶段成果物日常技术交流答疑	<ul style="list-style-type: none">提供《测试报告》《产品使用手册》及培训其他相关文档交接陪产阶段调试、优化



GEEGOBYTE

Pioneering Green Energy, One Byte at a Time

商务咨询及合作意向请联系：

索琪 Suky SUO
Co-Founder / COO
suoqi@geegobyte.com
135-2058-2382