

CSNS加速器智能预警和巡检系统

何泳成

控制组

2025年2月

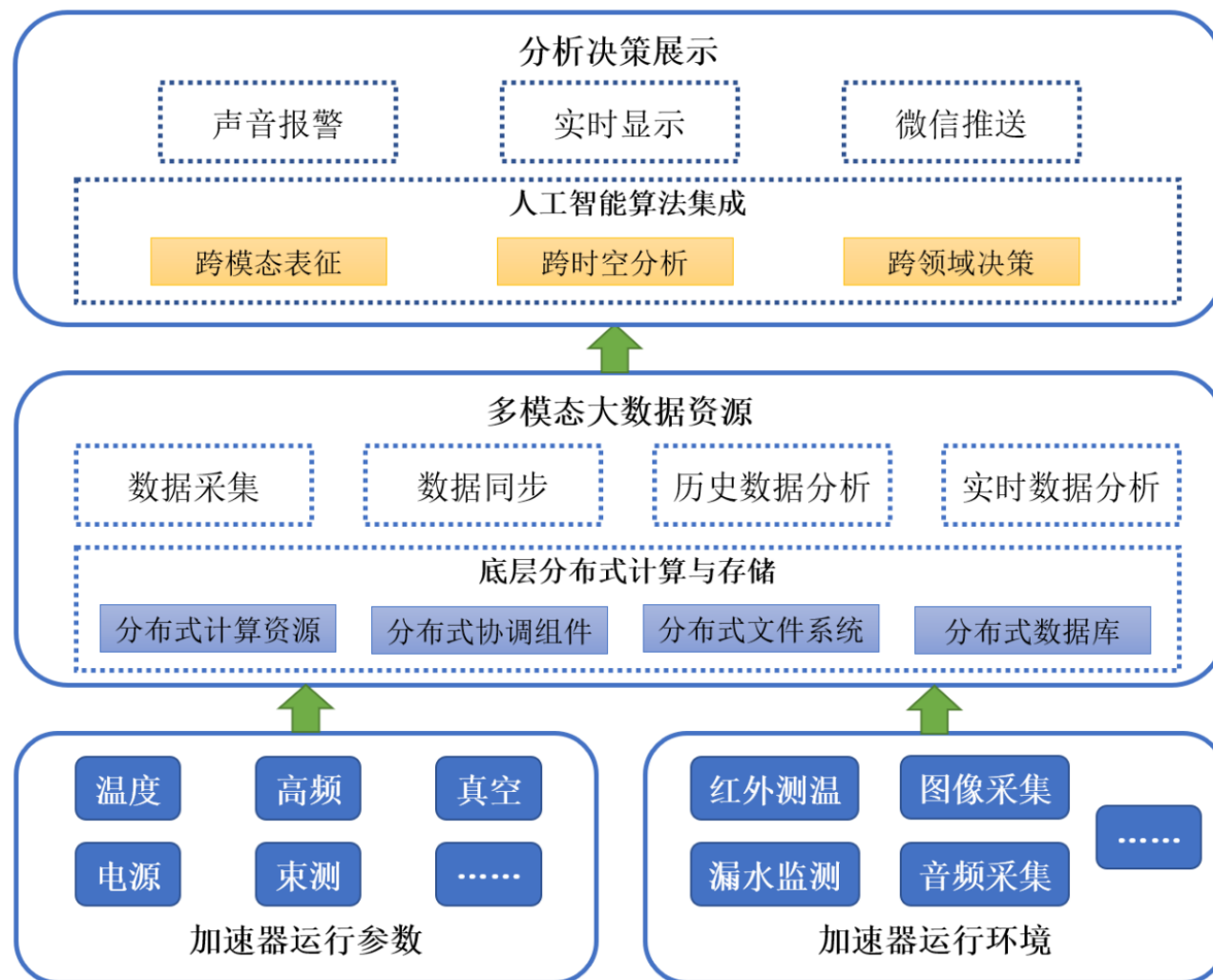


报告内容

- 一. **CSNS**加速器智能预警和巡检系统设计
- 二. 基于深度学习的加速器预警系统样机
- 三. **CSNS**加速器本地站智能巡检系统试点

一.CSNS加速器智能预警和巡检系统设计

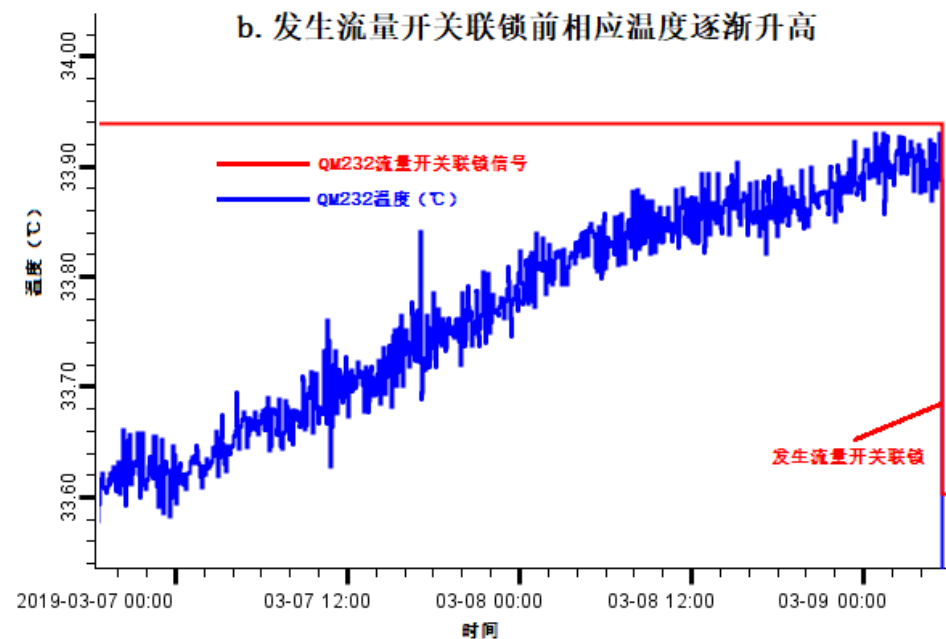
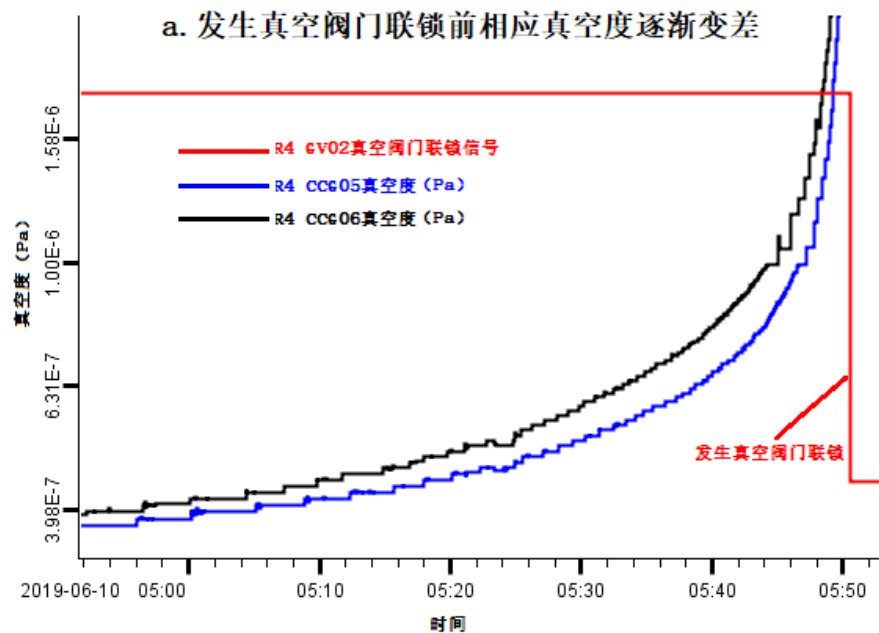
➤ 整体结构示意图



二.基于深度学习的加速器预警系统样机

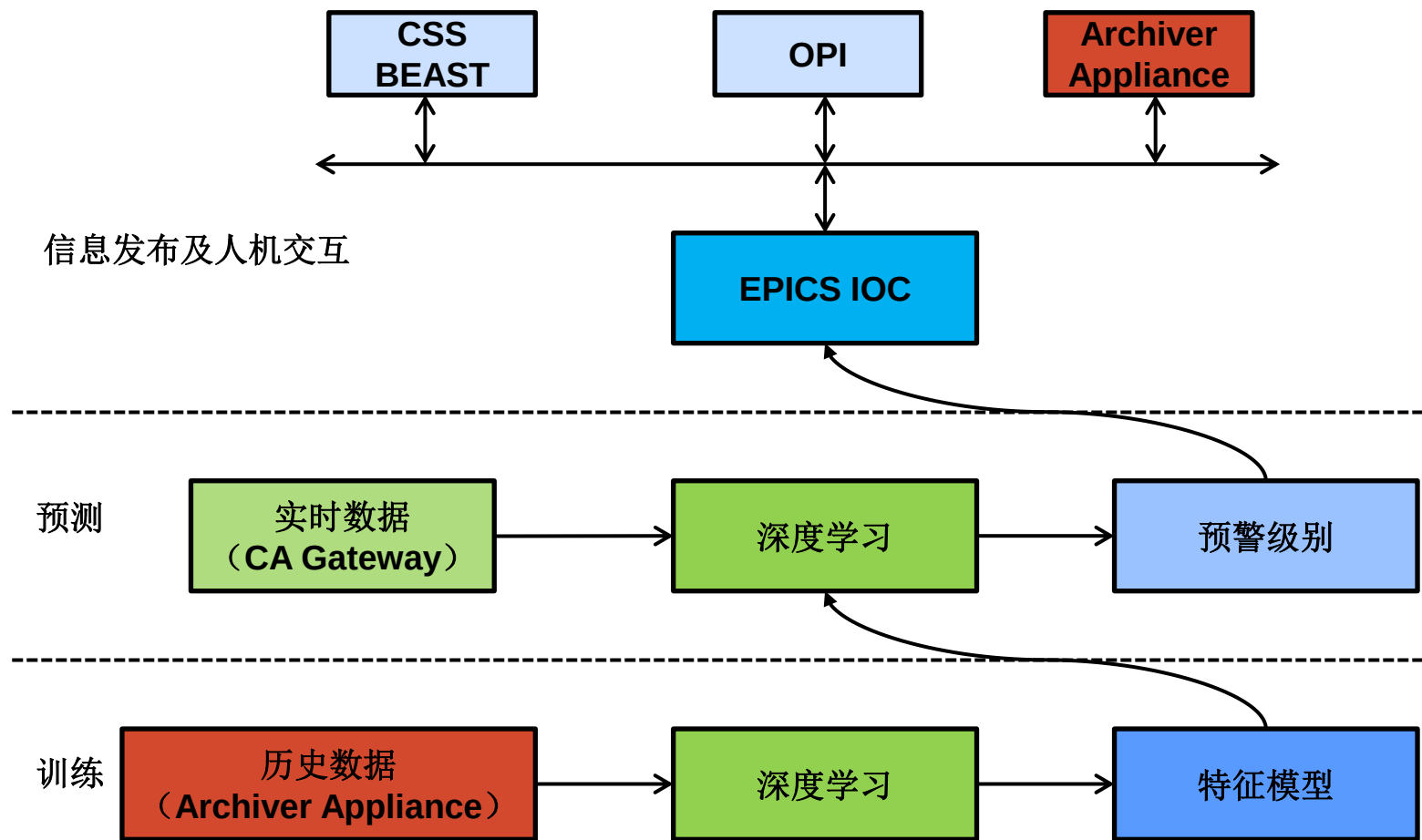
➤ 系统基本原理

- 部分故障发生前真空度和温度等基础数据的变化有一定的规律。



二.基于深度学习的加速器预警系统样机

➤ 系统结构设计



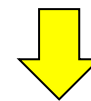
二.基于深度学习的加速器预警系统样机

➤ 数据预处理

$$P_{j*} = \begin{cases} P_j / (1000 \times \overline{P_j}), & P_j / (1000 \times \overline{P_j}) < 1 \\ 1, & P_j / (1000 \times \overline{P_j}) \geq 1 \end{cases}$$



$$X_* = \begin{bmatrix} P_{t0,0*} & \cdots & P_{t0,54*} \\ \cdots & P_{ti,j*} & \cdots \\ P_{t54,0*} & \cdots & P_{t54,54*} \end{bmatrix}$$

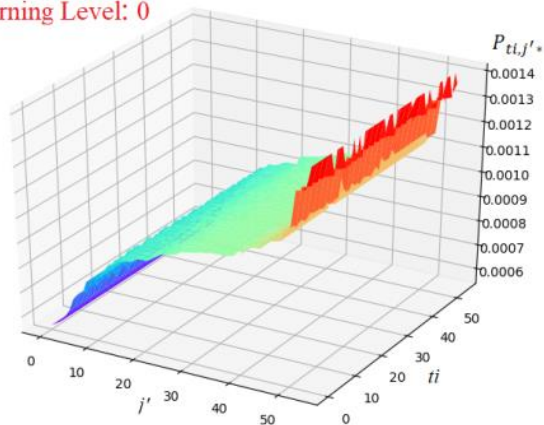


$$X_* \xrightarrow{\text{各行从小到大排序}} X$$

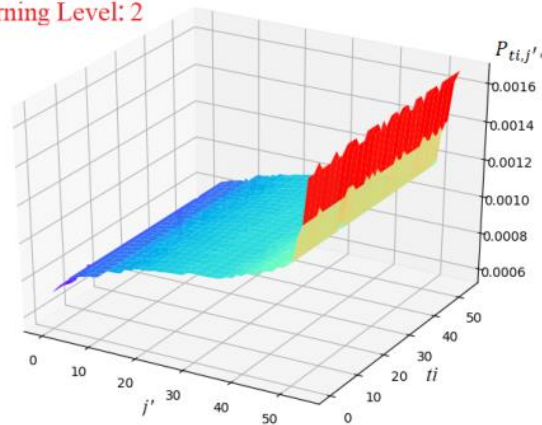
二.基于深度学习的加速器预警系统样机

➤ 训练样本示例

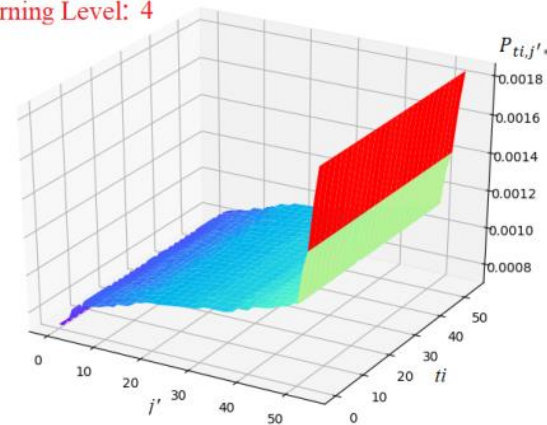
Warning Level: 0



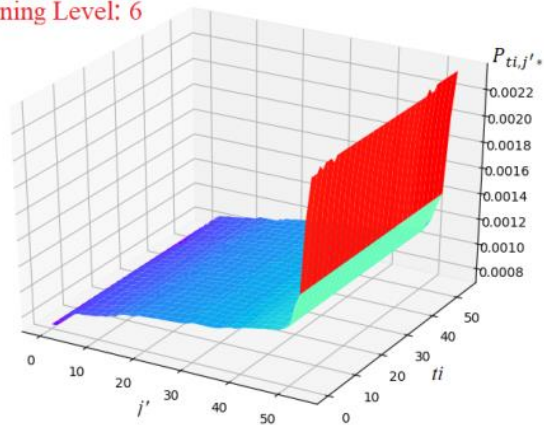
Warning Level: 2



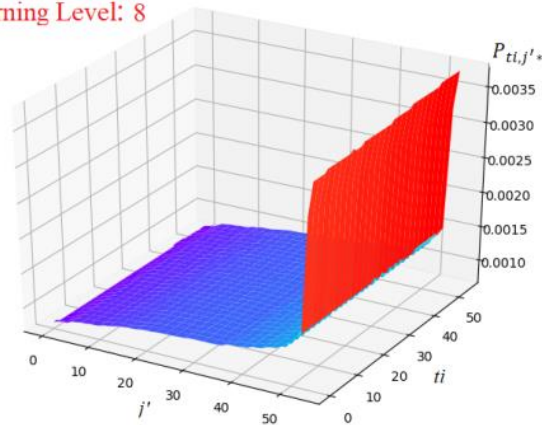
Warning Level: 4



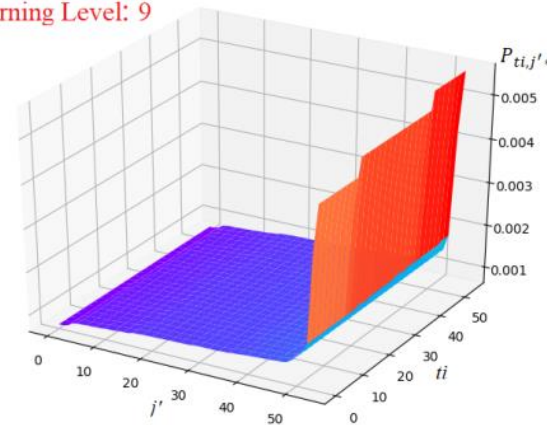
Warning Level: 6



Warning Level: 8

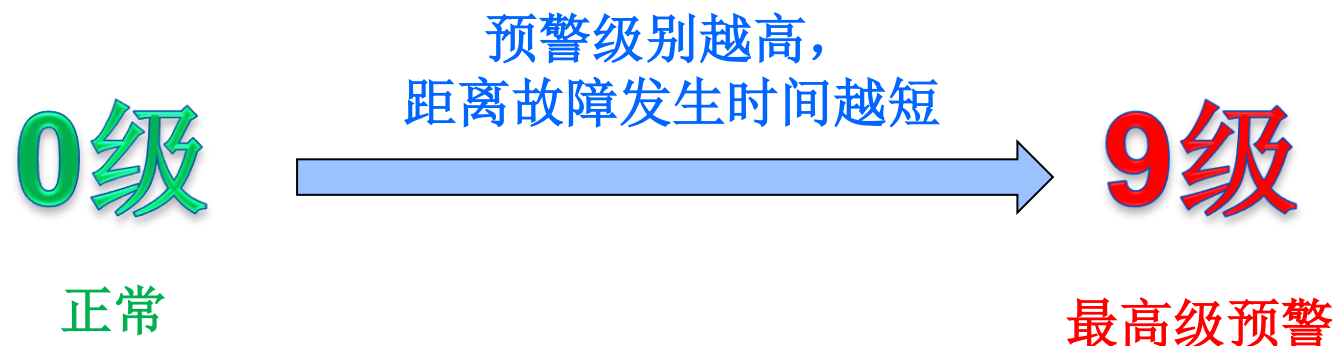


Warning Level: 9



二.基于深度学习的加速器预警系统样机

➤ 预警级别定义

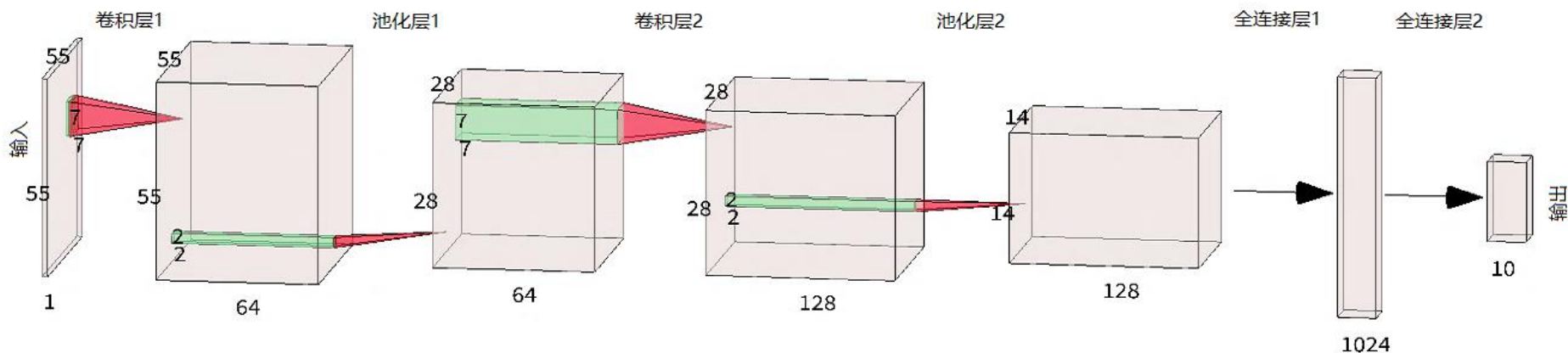


- 将预警级别转化为10维列向量

预警级别 Y 为 5 时: $Y = [0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0]^T$

二.基于深度学习的加速器预警系统样机

➤ 深度网络结构

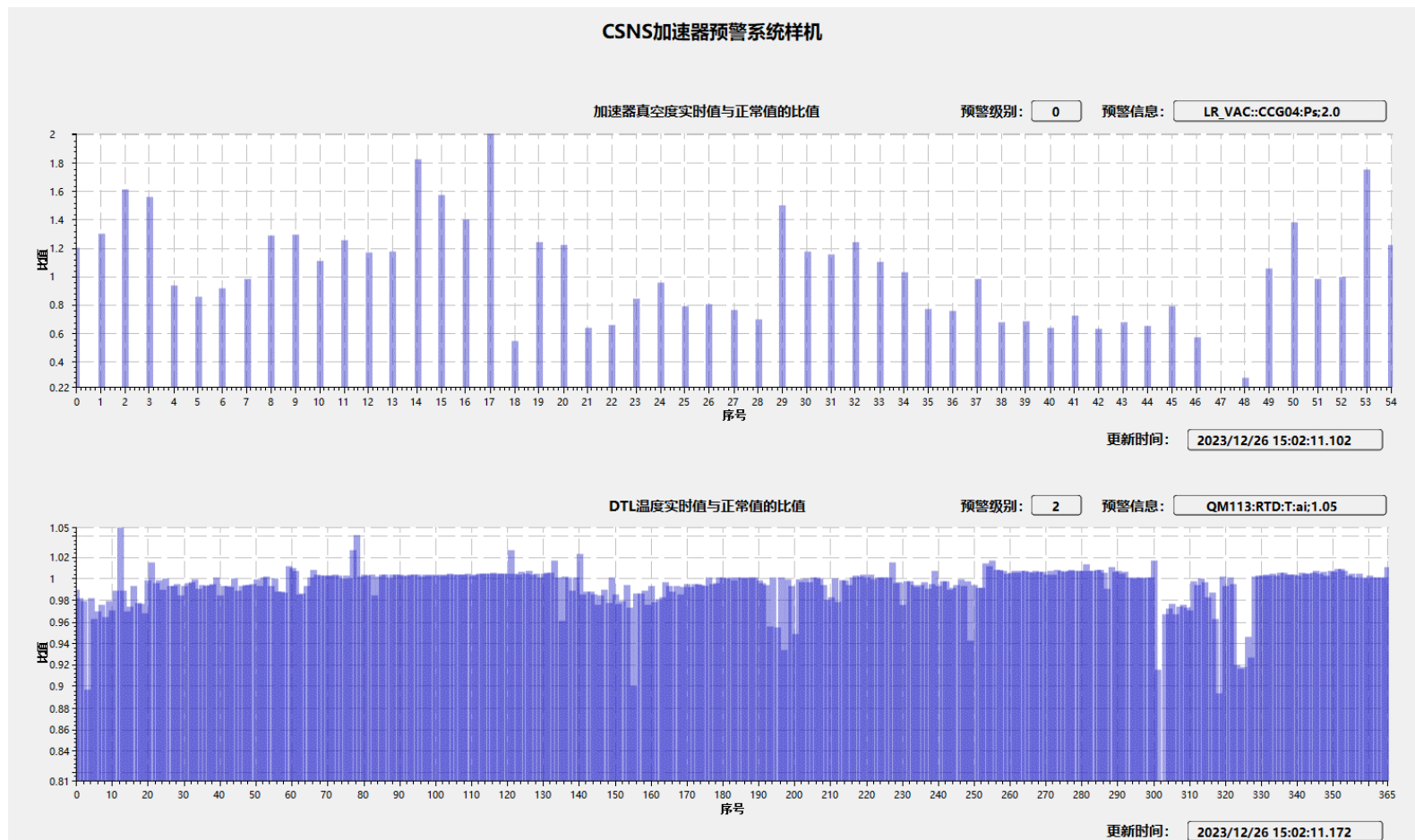


• 训练相关信息

GPU型号	GPU加速	训练轮数	每轮训练耗时	训练集样本数	测试集样本数	学习率	保持率	准确率
RTX 2080Ti	约17倍	351	约3分钟	50万	5万	0.0002	0.9	98.4%

二.基于深度学习的加速器预警系统样机

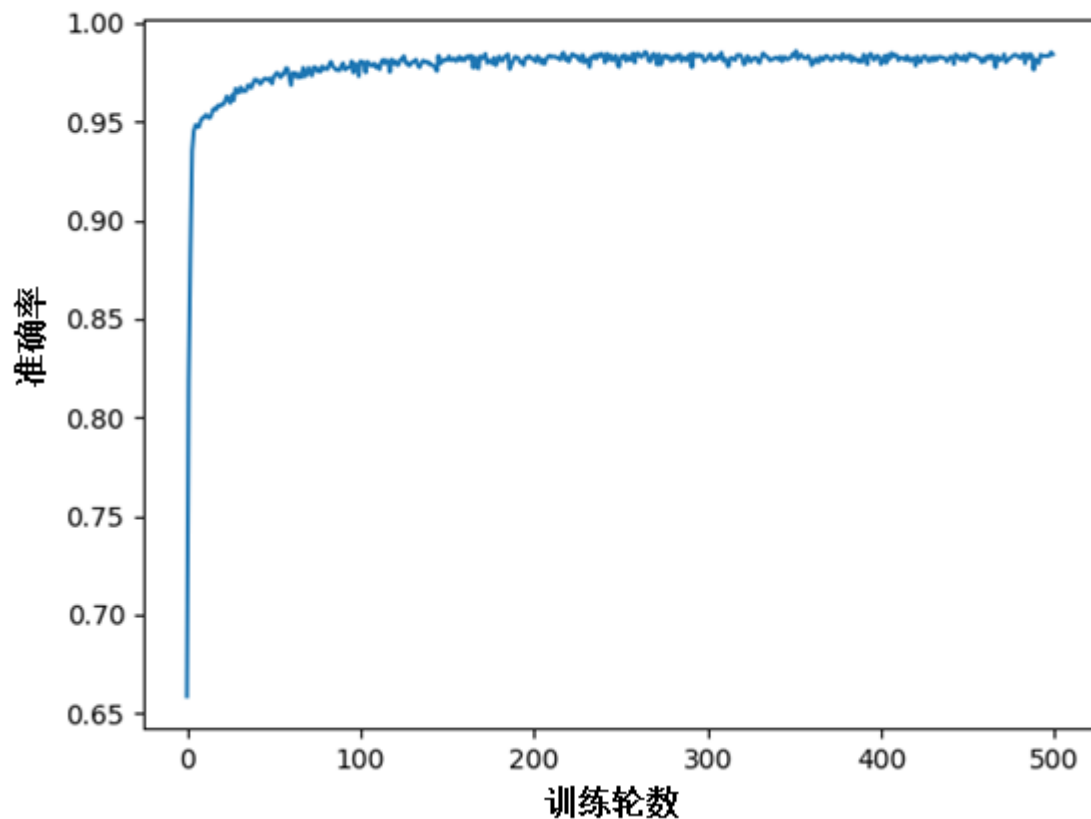
➤ 在线预测和信息发布



二.基于深度学习的加速器预警系统样机

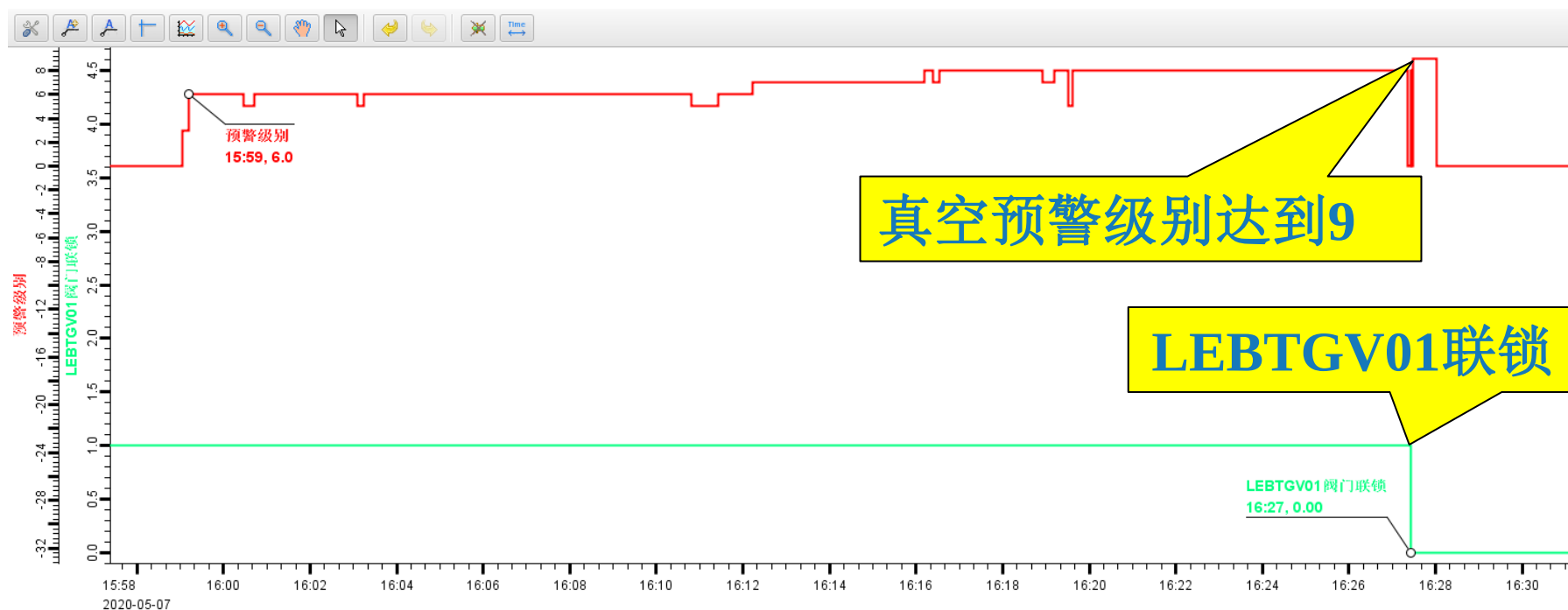
➤ 历史数据测试

- 分别对基于**CSNS**加速器真空度和**DTL**温度历史数据生成的各**5万个**测试样本进行了测试
- 对历史数据测试集的准确率可达**98.4%**



二.基于深度学习的加速器预警系统样机

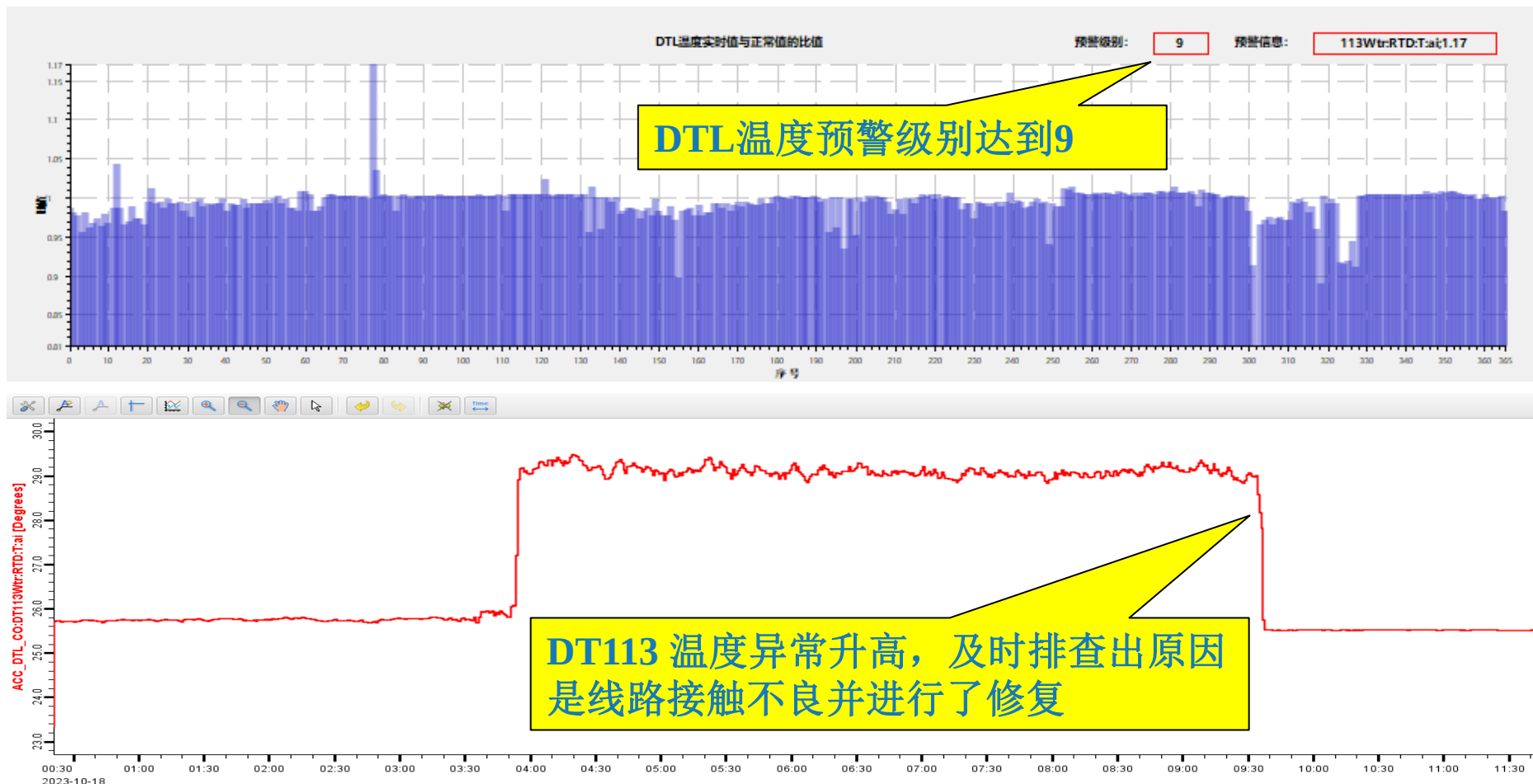
➤ 实例1



能发出预警信息，但仍需积累更多样本，训练出更精确模型，从而提高预警级别的准确率

二.基于深度学习的加速器预警系统样机

实例2



能发出预警信息, 但仍需积累更多样本, 训练出更精确模型, 从而提高预警级别的准确率

三. CSNS加速器本地站智能巡检系统试点

- 由于传统人工巡检存在巡检周期长（每6小时一次）、效率不高和无法实时监测等不足，所以设计了基于多模态传感器的本地站智能巡检系统

18) RTBT本地站(RT)

RTBT本地站包括：真空、控制、束测系统设备

无漏水

无声音报警

无异响

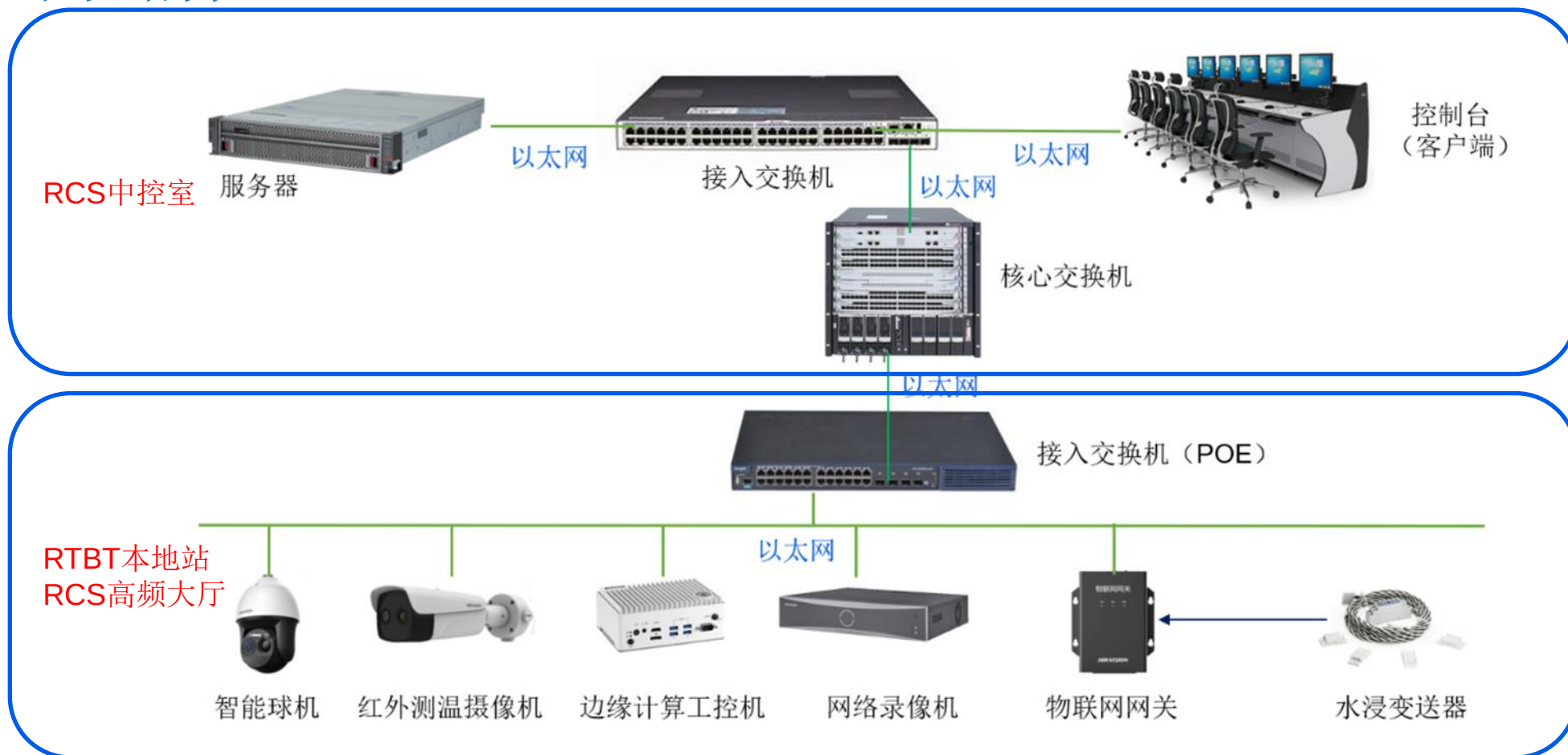
无异味

无烟雾

巡检情况：

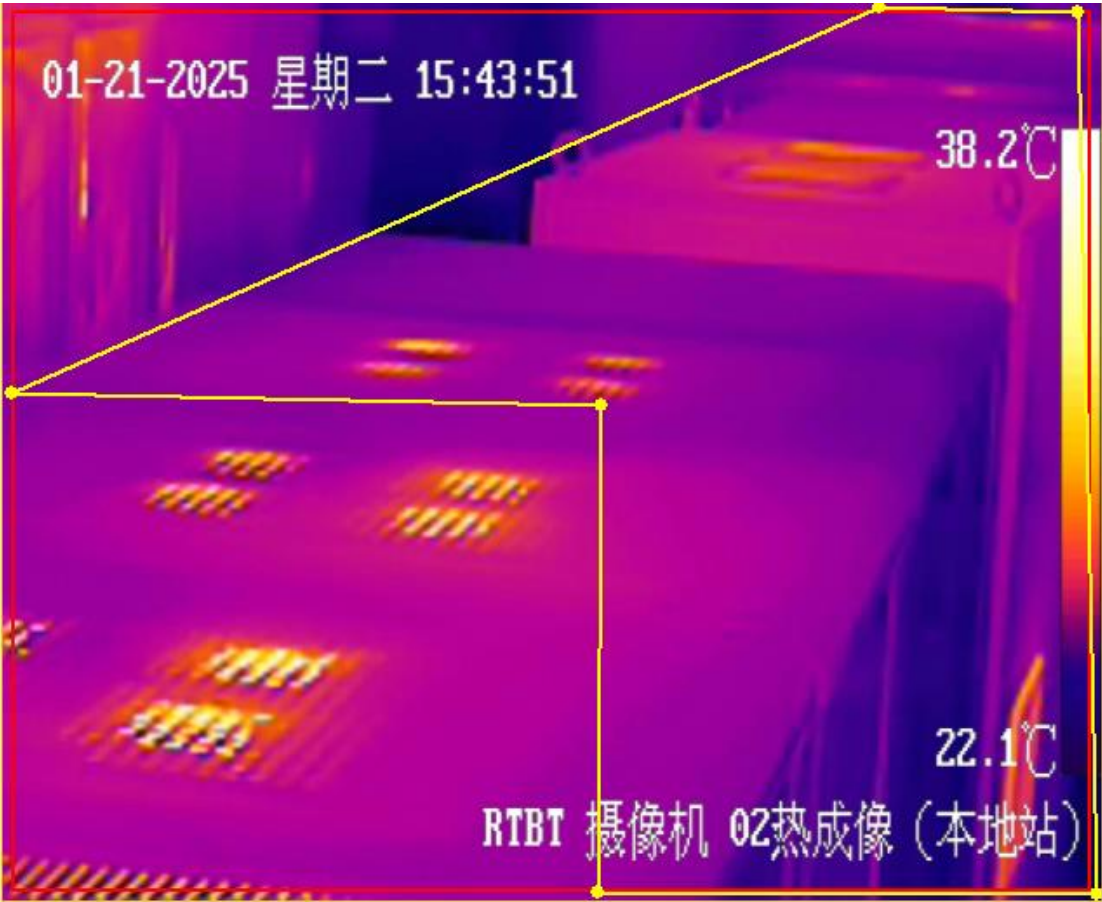
三. CSNS加速器本地站智能巡检系统试点

➤ 系统结构



三. CSNS加速器本地站智能巡检系统试点

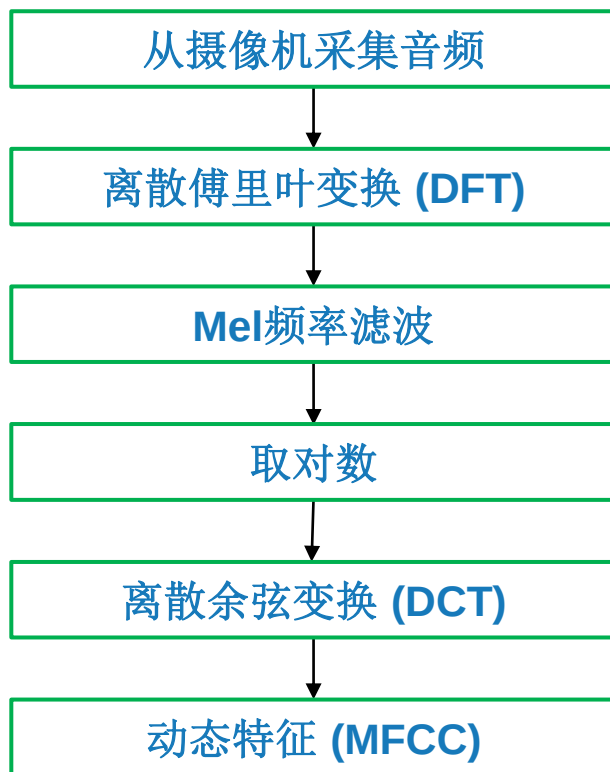
➤ 通过SDK将红外测温摄像机的温度报警信号发布为EPICS PV



启用	ID	名称	类型	发射率	距离(m)	反射温度(℃)	报警规则	
☐	12	ID:12	点	自定0.96	6	☐ 20	☒	
☐	13	ID:13	点	自定0.96	6	☐ 20	☒	
☐	14	ID:14	点	自定0.96	6	☐ 20	☒	
☐	15	ID:15	点	自定0.96	6	☐ 20	☒	
☐	16	ID:16	点	自定0.96	6	☐ 20	☒	
☐	17	ID:17	点	自定0.96	6	☐ 20	☒	
☐	18	ID:18	点	自定0.96	6	☐ 20	☒	
☐	19	ID:19	点	自定0.96	6	☐ 20	☒	
☐	20	ID:20	点	自定0.96	6	☐ 20	☒	
☐	21	ID:21	点	自定0.96	6	☐ 20	☒	

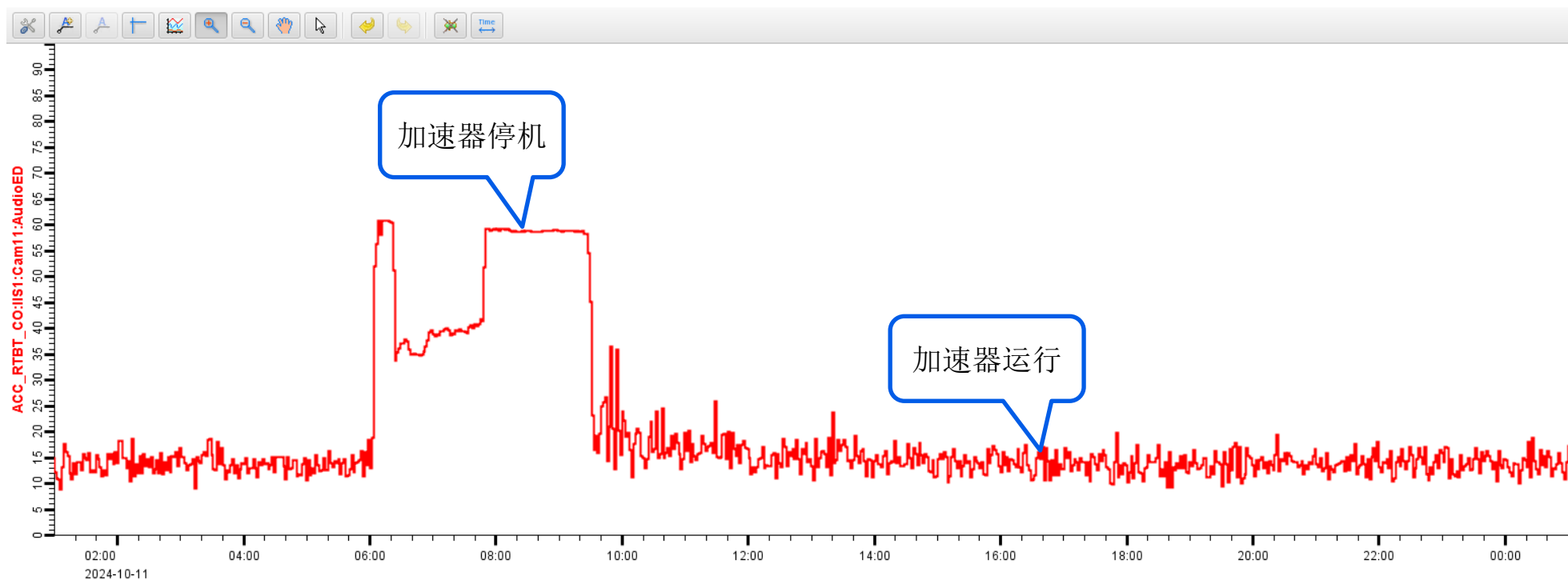
三. CSNS加速器本地站智能巡检系统试点

- 使用Mel频率倒谱系数（MFCC）提取摄像机采集音频的特征



三. CSNS加速器本地站智能巡检系统试点

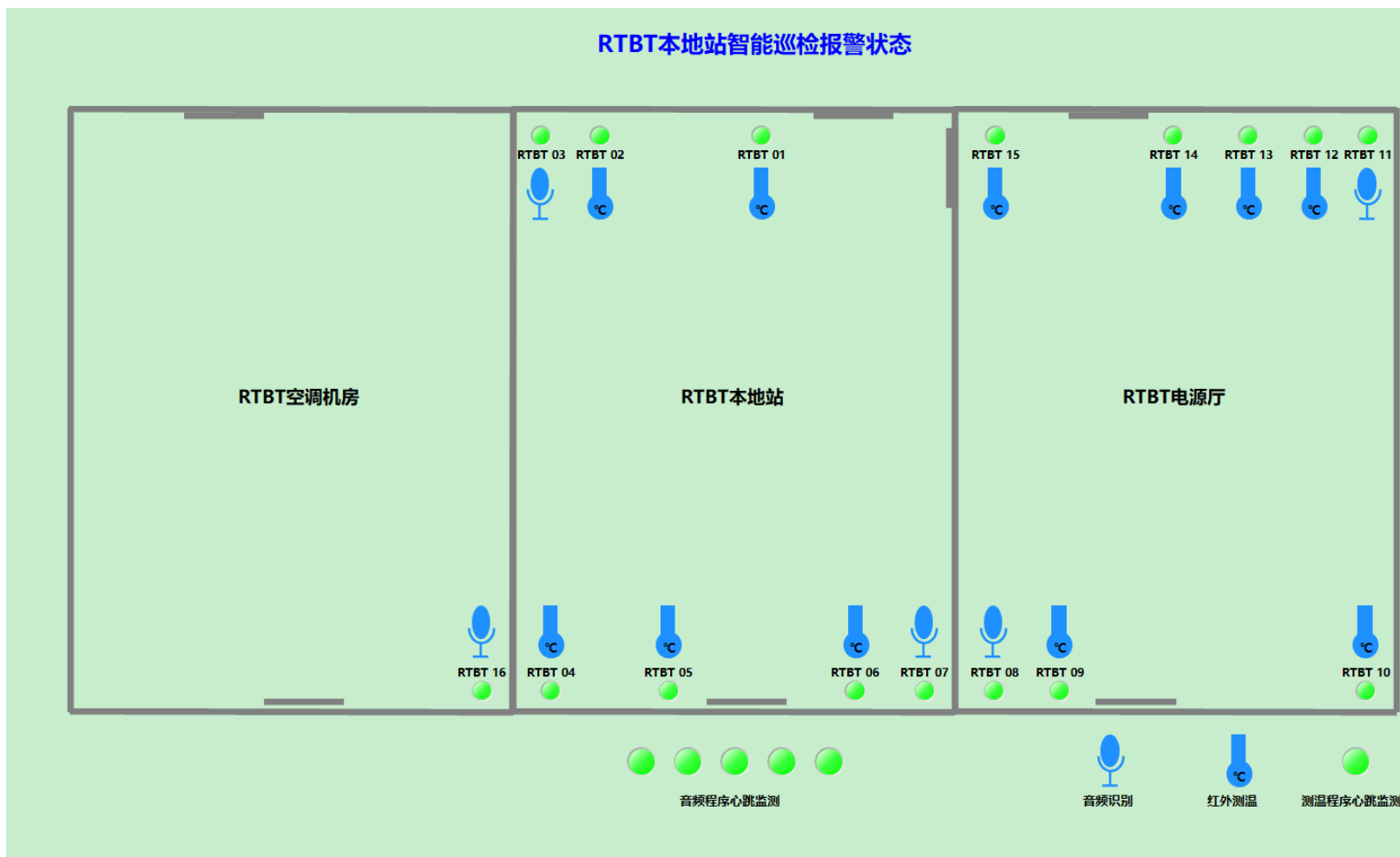
- 因只有少量故障音频数据，所以使用正常时音频的MFCC平均值与实时音频的MFCC平均值间的欧几里得距离来对音频进行区分



正常音频MFCC平均值与实时音频MFCC平均值间的欧几里得距离曲线

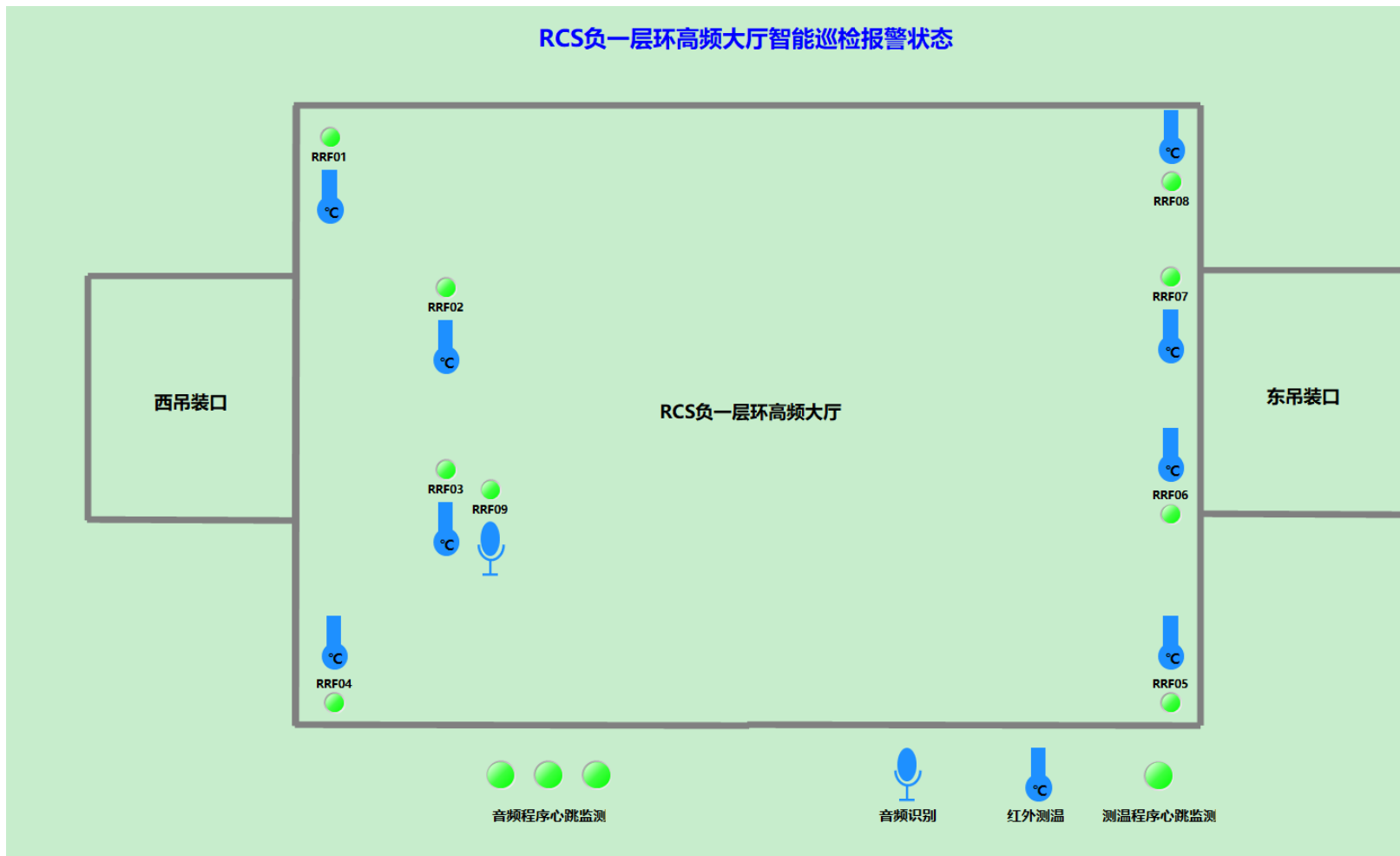
三. CSNS加速器本地站智能巡检系统试点

➤ RTBT本地站智能巡检系统OPI



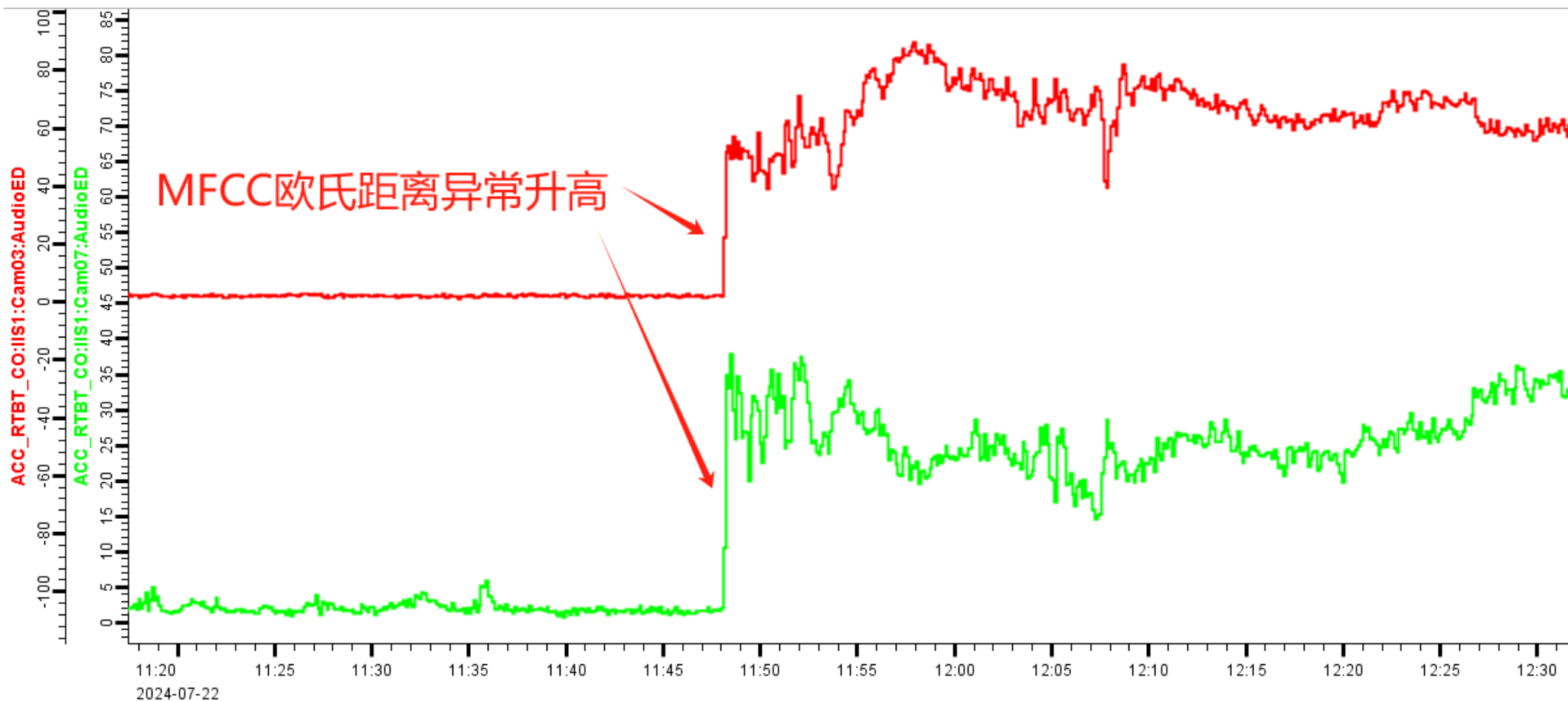
三. CSNS加速器本地站智能巡检系统试点

➤ RCS负一层环高频大厅智能巡检系统OPI



三. CSNS加速器本地站智能巡检系统试点

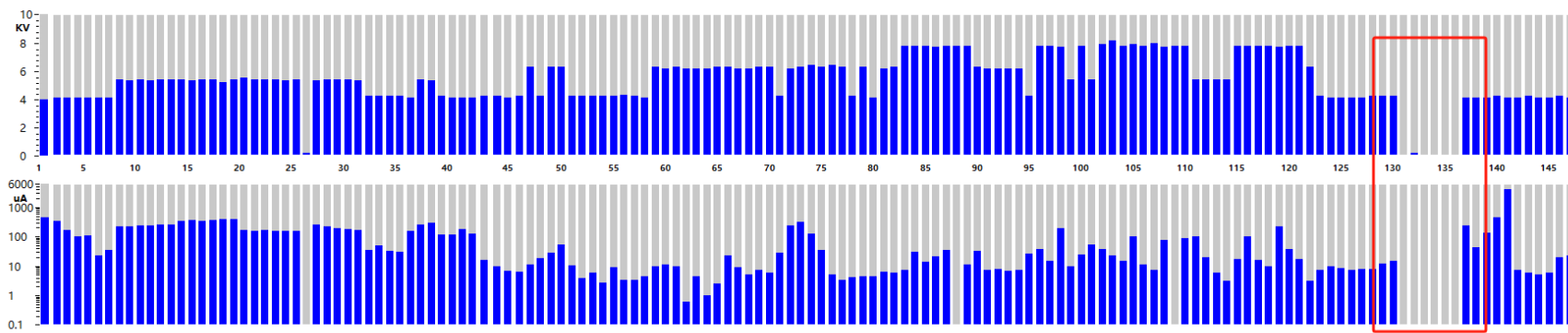
- 实例1: RTBT本地站两路音频MFCC欧式距离同时异常升高, 排查原因为真空离子泵电源故障



三. CSNS加速器本地站智能巡检系统试点

➤ 实例1: RTBT本地站两路音频MFCC欧式距离同时异常升高, 排查原因为真空离子泵电源故障

CSNS Accelerator Ion Pump Monitoring

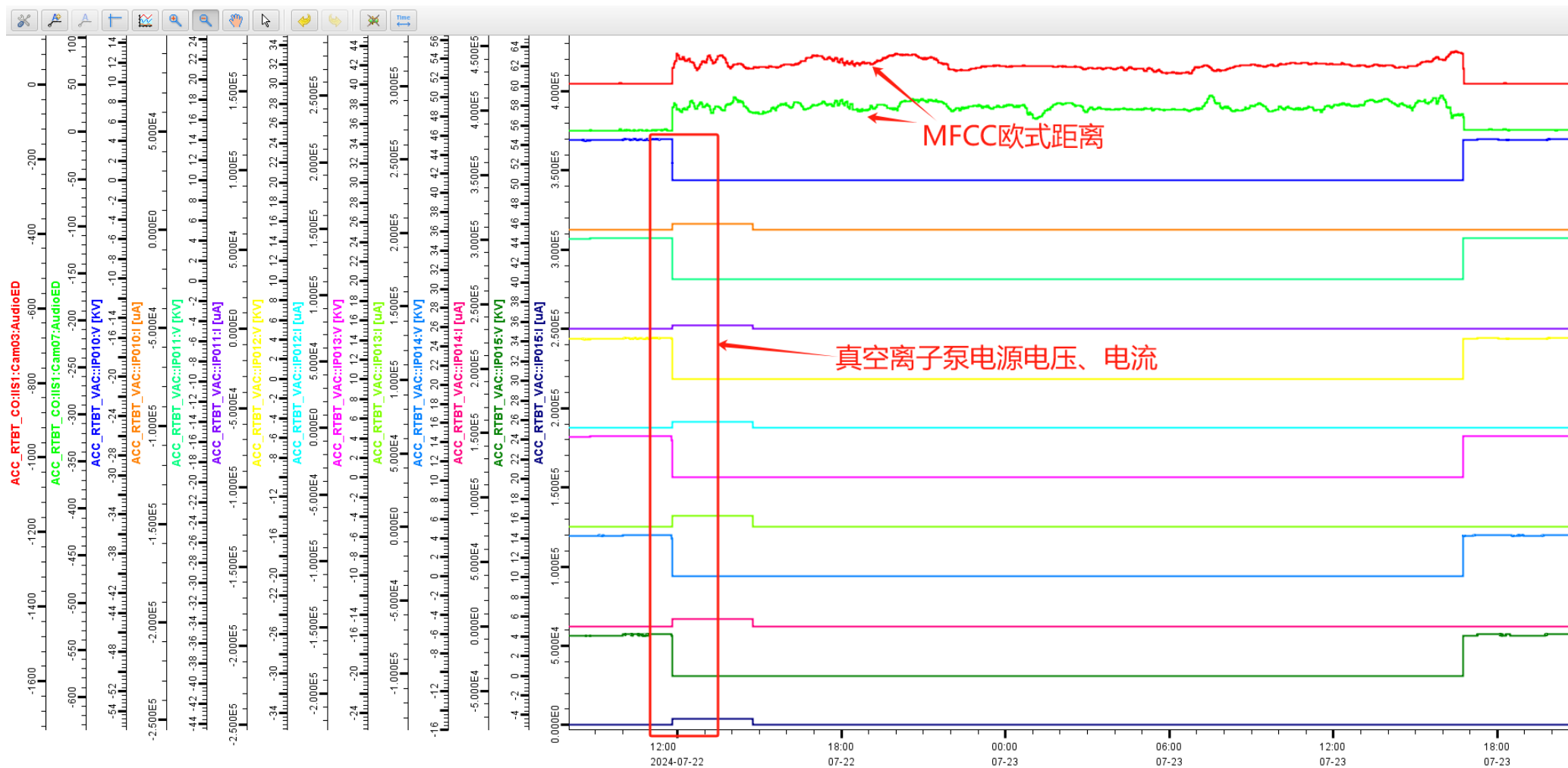


1	RFQIP001	4.0	420.0	22	DTLIP015	5.4	170.0	43	LDIP001	4.2	5.2	64	LRBTIP014	6.2	0.6	85	R1IP005	7.8	4.5	106	R3IP002	7.8	3.8	127	RTSTIP006	4.1	3.0
2	RFQIP002	4.1	350.0	23	DTLIP016	5.4	160.0	44	LDIP002	4.2	3.4	65	LRBTIP015	6.3	1.2	86	R1IP006	7.7	6.2	107	R3IP003	8.0	2.7	128	RTSTIP007	4.2	3.0
3	RFQIP003	4.1	170.0	24	DTLIP017	5.3	160.0	45	LDIP003	4.1	2.6	66	LRBTIP016	6.3	6.8	87	R1IP007	7.8	9.1	108	R3IP004	7.7	17.0	129	RTSTIP008	4.2	4.0
4	MEBTIP001	4.1	100.0	25	DTLIP018	5.4	160.0	46	LDIP004	4.2	2.5	67	LRBTIP017	6.2	3.2	88	R1IP008	7.8	0.0	109	R3IP005	7.8	0.0	130	RTSTIP009	4.2	4.7
5	MEBTIP002	4.1	110.0	26	DTLIP019	0.1	0.0	47	LDIP001	6.3	3.8	68	LRBTIP018	6.2	2.1	89	R1IP009	7.8	3.8	110	R3IP006	7.8	19.0	131	RTSTIP010	0.0	0.0
6	MEBTIP003	4.1	23.0	27	DTLIP020	5.3	260.0	48	LDIP002	4.2	5.8	69	LRBTIP019	6.3	2.7	90	R2IP001	6.3	8.6	111	R3IP007	5.4	21.0	132	RTSTIP011	0.1	0.0
7	MEBTIP004	4.1	35.0	28	DTLIP021	5.4	230.0	49	INJIP001	6.3	7.9	70	LRBTIP020	6.3	2.3	91	R2IP002	6.2	2.8	112	R3IP008	5.4	6.1	133	RTSTIP012	0.0	0.0
8	DTLIP001	5.4	220.0	29	DTLIP022	5.4	200.0	50	INJIP002	6.3	13.0	71	LRBTIP021	4.2	8.0	92	R2IP003	6.2	2.9	113	R4IP001	5.4	2.4	134	RTSTIP013	0.0	0.0
9	DTLIP002	5.3	230.0	30	DTLIP023	5.4	180.0	51	LRBTIP001	4.2	3.6	72	LRBTIP022	6.2	41.0	93	R2IP004	6.2	2.6	114	R4IP002	5.4	1.4	135	RTSTIP014	0.0	0.0
10	DTLIP003	5.4	240.0	31	DTLIP024	5.3	170.0	52	LRBTIP002	4.2	1.7	73	LRBTIP023	6.3	51.0	94	R2IP005	6.2	2.8	115	R4IP003	7.8	5.4	136	RTSTIP015	0.0	0.0
11	DTLIP004	5.3	240.0	32	DTLIP025	4.2	34.0	53	LRBTIP003	4.2	2.3	74	LRBTIP024	6.4	25.0	95	R2IP006	4.2	7.4	116	R4IP004	7.8	21.0	137	RTSTIP016	4.1	41.0
12	DTLIP005	5.4	250.0	33	DTLIP026	4.2	49.0	54	LRBTIP004	4.2	1.3	75	LRBTIP025	6.3	9.3	96	R2IP007	7.8	9.8	117	R4IP005	7.8	5.1	138	RTSTIP017	4.1	11.0
13	DTLIP006	5.4	260.0	34	DTLIP027	4.2	32.0	55	LRBTIP005	4.2	3.3	76	LRBTIP026	6.4	2.1	97	R2IP008	7.8	4.8	118	R4IP006	7.8	3.4	139	RTSTIP018	4.1	26.0
14	DTLIP007	5.4	350.0	35	DTLIP028	4.2	31.0	56	LRBTIP006	4.3	1.5	77	LRBTIP027	6.3	1.5	98	R2IP009	7.7	36.0	119	R4IP007	7.7	39.0	140	RTSTIP019	4.2	67.0
15	DTLIP008	5.3	360.0	36	DTLIP029	4.1	160.0	57	LRBTIP007	4.2	1.5	78	LRBTIP028	4.2	1.8	99	R2IP010	5.4	3.4	120	R4IP008	7.8	10.0	141	RTSTIP020	4.1	380.0
16	DTLIP009	5.4	340.0	37	DTLIP030	5.4	250.0	58	LRBTIP008	4.1	1.9	79	LRBTIP029	6.3	1.9	100	R2IP011	7.8	7.0	121	R4IP009	7.8	5.5	142	RDIP001	4.1	2.7
17	DTLIP010	5.4	370.0	38	DTLIP031	5.3	290.0	59	LRBTIP009	6.3	3.5	80	LRBTIP030	6.4	1.1	101	R2IP012	5.4	13.0	122	RTBTIP001	6.3	1.4	143	RDIP002	4.2	2.3
18	DTLIP011	5.2	390.0	39	DTLIP032	4.2	120.0	60	LRBTIP010	6.2	3.9	81	R1IP001	6.2	2.5	102	R2IP013	7.9	9.8	123	RTBTIP002	4.2	2.7	144	RDIP003	4.1	2.1
19	DTLIP012	5.4	400.0	40	DTLIP033	4.1	120.0	61	LRBTIP011	6.3	3.5	82	R1IP002	6.3	2.4	103	R2IP014	8.2	6.6	124	RTBTIP003	4.1	3.4	145	RDIP004	4.1	2.3
20	DTLIP013	5.5	170.0	41	DTLIP034	4.1	180.0	62	LRBTIP012	6.2	0.4	83	R1IP003	7.8	2.8	104	R2IP015	7.8	4.7	125	RTBTIP004	4.1	3.1	146	RDIP005	4.2	6.0
21	DTLIP014	5.4	160.0	42	DTLIP035	4.1	130.0	63	LRBTIP013	6.2	1.9	84	R1IP004	7.8	8.5	105	R3IP001	7.9	21.0	126	RTBTIP005	4.1	2.8	147	RDIP006	4.1	6.6



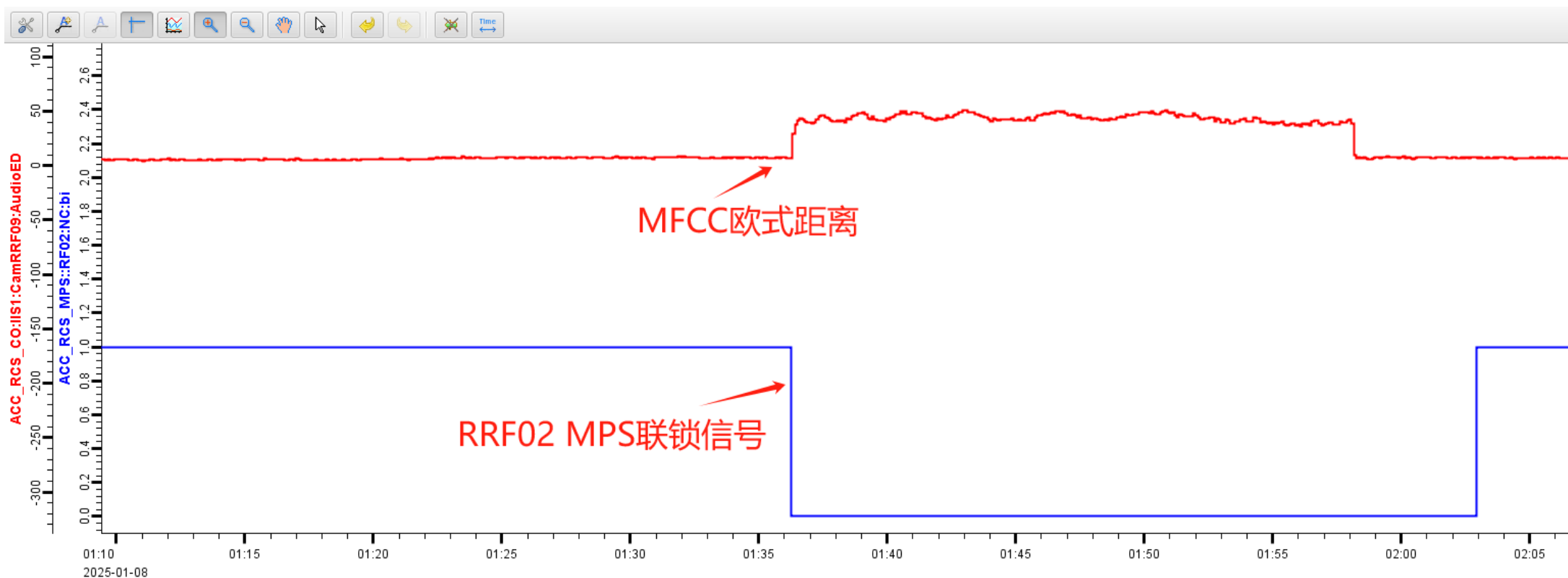
三. CSNS加速器本地站智能巡检系统试点

➤ 实例1: RTBT本地站两路音频MFCC欧式距离同时异常升高, 排查原因为真空离子泵电源故障



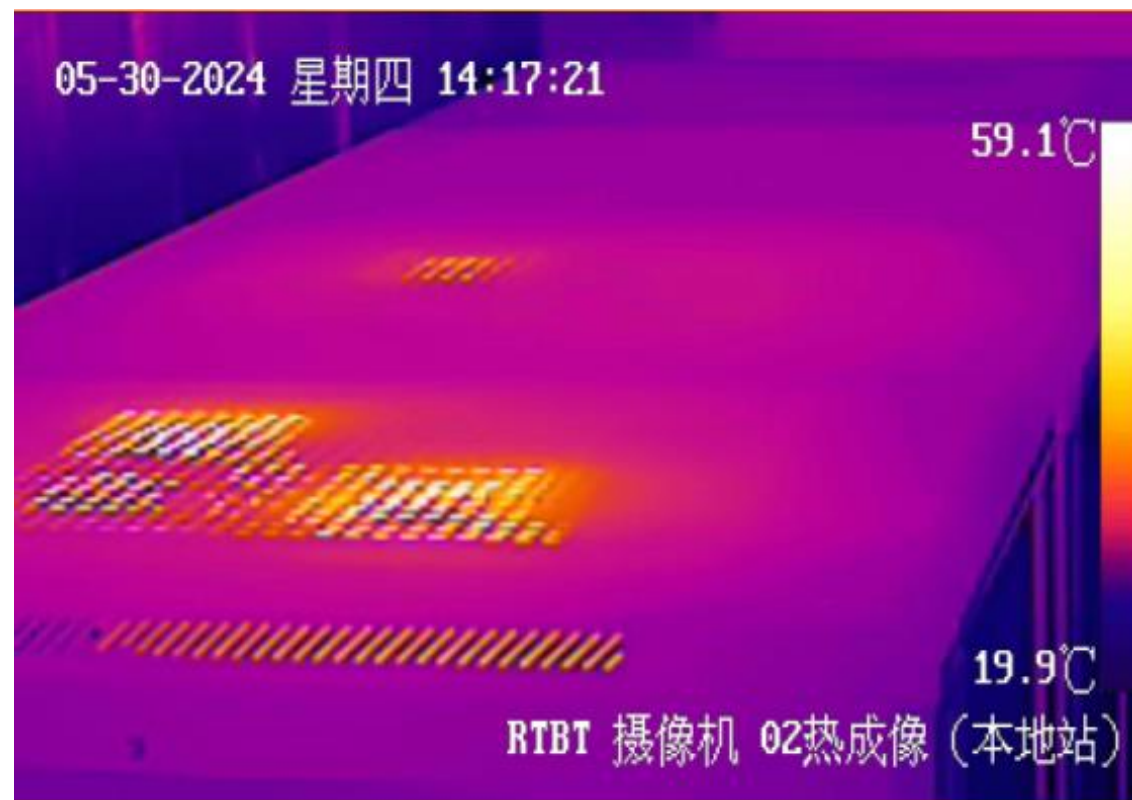
三. CSNS加速器本地站智能巡检系统试点

➤ 实例2：环高频大厅RCS调谐偏流源故障，MFCC欧式距离升高



三. CSNS加速器本地站智能巡检系统试点

- 实例3：发现RTBT本地站真空机柜温度偏高，排查原因为机柜风扇故障

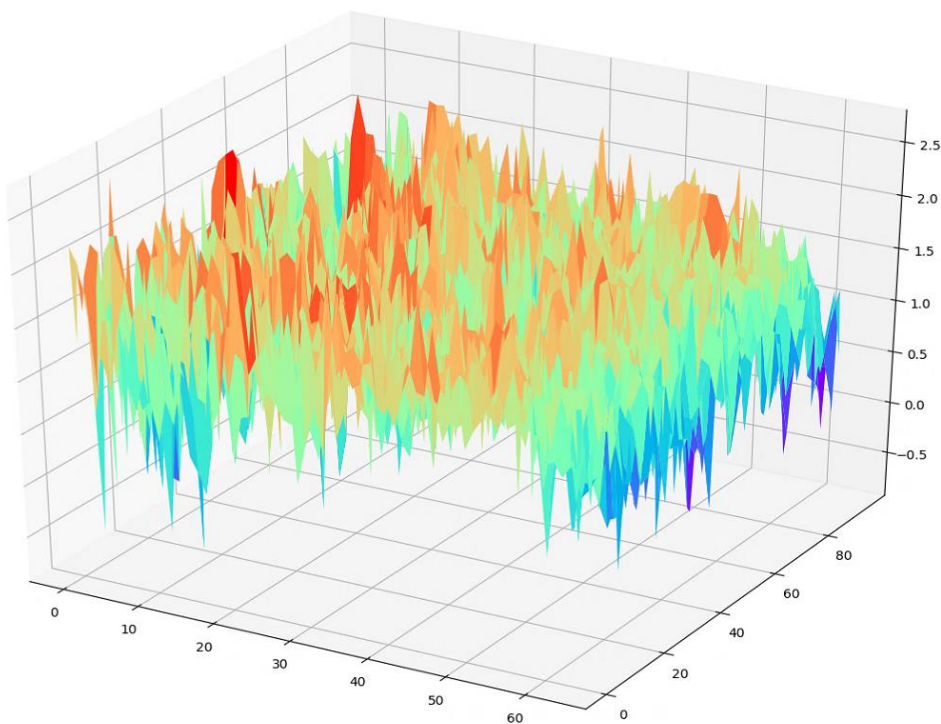


三. CSNS加速器本地站智能巡检系统试点

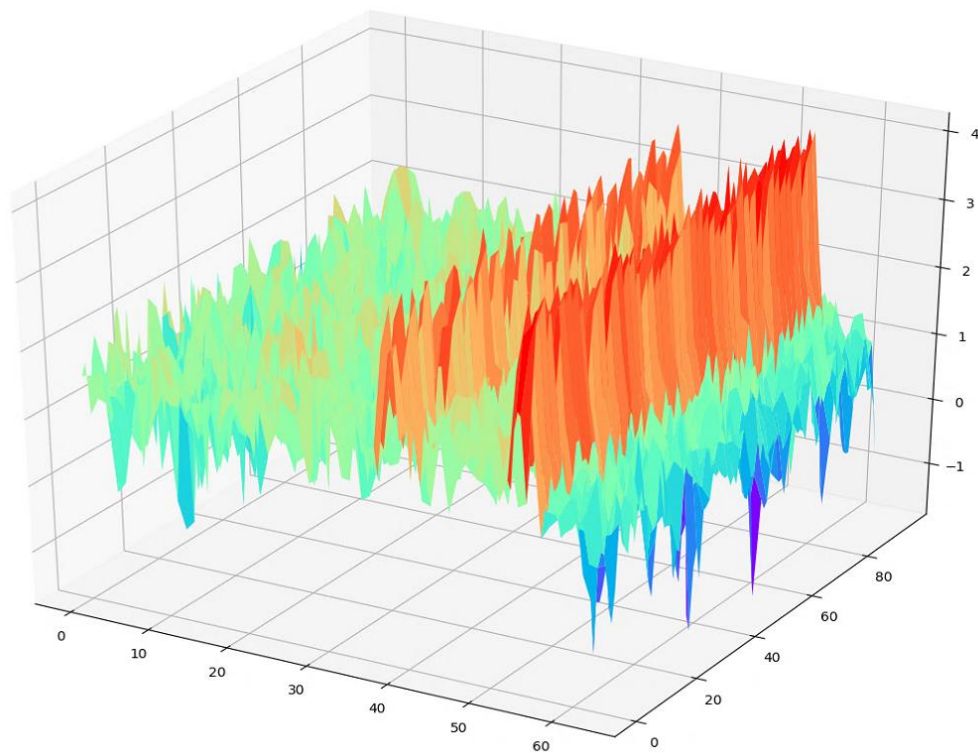
- 正在研究使用VGGish模型进行音频识别，已初步掌握使用VGGish模型提取音频特征的方法
- VGGish模型音频文件经预处理和特征提取过程：
 1. 将音频重采样为16kHz单声道音频；
 2. 使用25 ms的Hann时窗，10 ms的帧移对音频进行短时傅里叶变换得到频谱图；
 3. 通过将频谱图映射到64阶mel滤波器组中计算mel声谱；
 4. 计算 $\log(\text{mel-spectrum} + 0.01)$ ，得到稳定的 mel 声谱，所加的 0.01 的偏置是为了避免对 0 取对数；
 5. 然后这些特征被以 0.96s的时长被组帧，并且没有帧的重叠，每一帧都包含 64 个mel 频带，时长 10ms（即总共 96 帧）。

三. CSNS加速器本地站智能巡检系统试点

- 正在研究使用VGGish模型进行音频识别，已初步掌握使用VGGish模型提取音频特征的方法
- VGGish模型输入（音频文件经预处理和特征提取后获得）



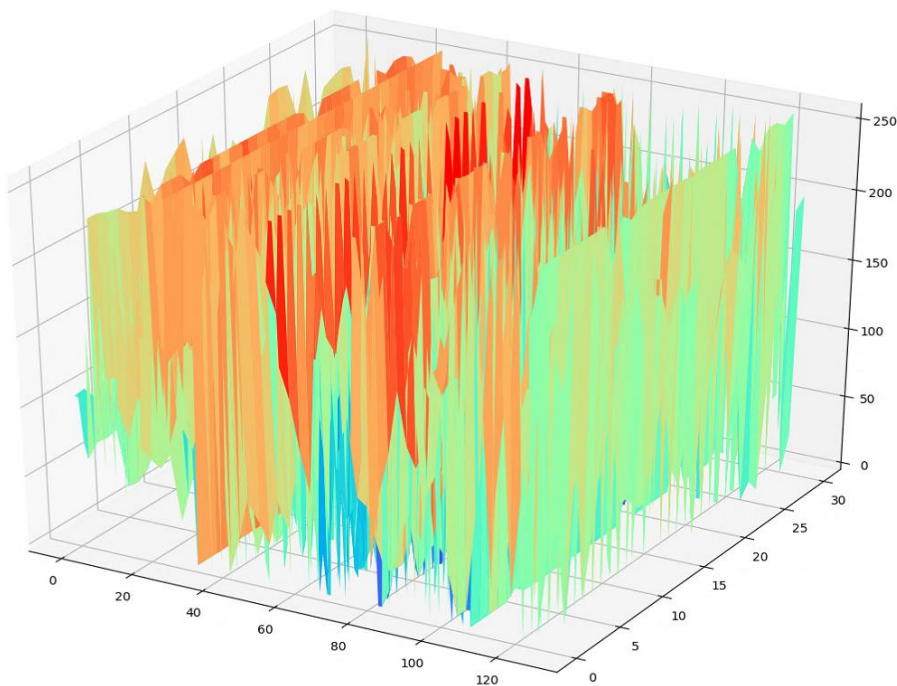
RTBT03正常音频（0.96s）



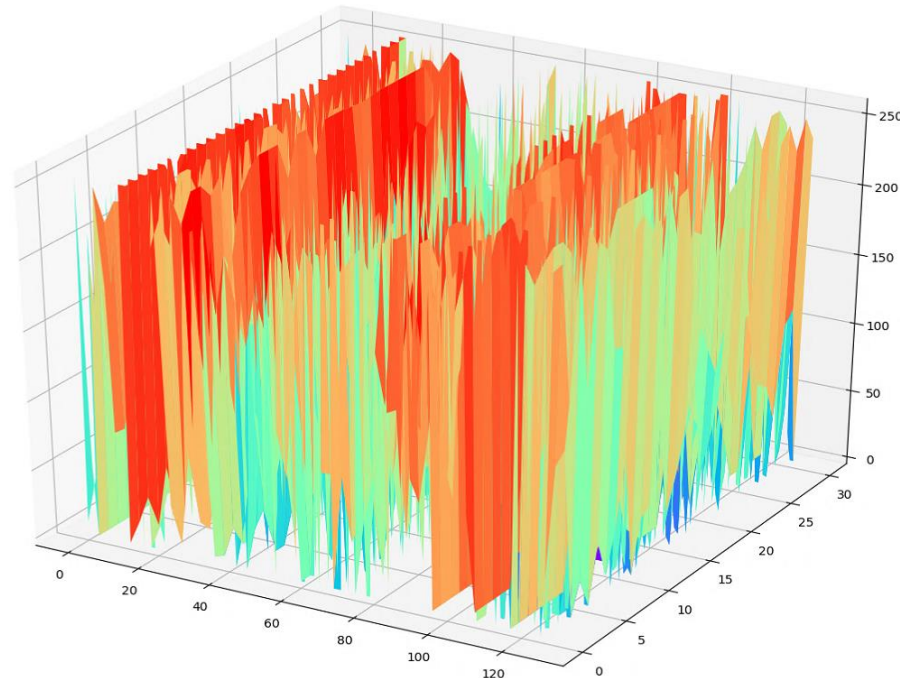
RTBT03异常音频（0.96s）

三. CSNS加速器本地站智能巡检系统试点

- 正在研究使用VGGish模型进行音频识别，已初步掌握使用VGGish模型提取音频特征的方法
- VGGish模型输出（VGGish 模型采用卷积神经网络（CNN）架构，由多个卷积层、池化层和全连接层组成，输出是128维的特征向量）



RTBT03正常音频（30s）



RTBT03异常音频（30s）

三. CSNS加速器本地站智能巡检系统试点

➤ MFCC和VGGish对比

■ 特征抽象程度

- **MFCC:** 主要基于手工特征和信号处理技术，其特征相对较为直观，反映了音频的频域和人耳感知特性，但可能缺乏对复杂音频语义的高级抽象。
- **VGGish:** 通过深度学习网络学习到的特征，具有更高层次的抽象能力，可以捕捉到音频中的语义信息，例如区分不同的声音事件（如狗叫声、汽车喇叭声等），在处理复杂的音频场景分类任务时可能更具优势。

■ 可迁移性和通用性

- **MFCC:** 需要针对不同任务重新设计特征提取的参数和后续的机器学习算法，对不同类型的音频任务的适应性可能有限。
- **VGGish:** 预训练的 VGGish 特征提取器可以很容易地应用于各种音频任务，并且可以进行微调，具有更好的可迁移性，在不同的音频分类、事件检测任务中可能会取得较好的效果，尤其是在大规模数据集上训练后。

■ 手工特征和数据驱动

- **MFCC:** 是手工设计的特征，依赖于对音频信号处理的先验知识和经验，对于新的音频特征可能需要重新设计特征提取过程。
- **VGGish:** 是数据驱动的，通过大量数据自动学习特征表示，对于新的音频数据和任务，可能自动学习到更有效的特征，而无需太多人工干预。

三. CSNS加速器本地站智能巡检系统试点

➤ MFCC和VGGish对比

■ 适用场景

- MFCC 的适用场景:

- 对于语音识别任务，尤其是在资源有限的情况下，MFCC 是一种经典且有效的特征，例如在传统的语音识别系统中，MFCC 与隐马尔可夫模型（HMM）结合使用。
- 对于一些简单的音频分类任务，MFCC 结合简单的机器学习算法（如聚类、SVM 等）可以取得较好的效果，尤其是在训练数据较少的情况下。

- VGGish 的适用场景:

- 在大规模的音频数据集上，VGGish 可以发挥其深度学习的优势，提取更有语义性的特征，用于复杂的音频事件检测、环境声音分类、音乐分类等任务。
- 当有大量未标记的数据时，可利用 VGGish 的预训练模型进行迁移学习，为下游任务带来性能提升。

- 结合使用

- 在某些情况下，可以将 MFCC 和 VGGish 特征结合使用，以发挥两者的优势。

谢谢！