

# 年度绩效考核报告

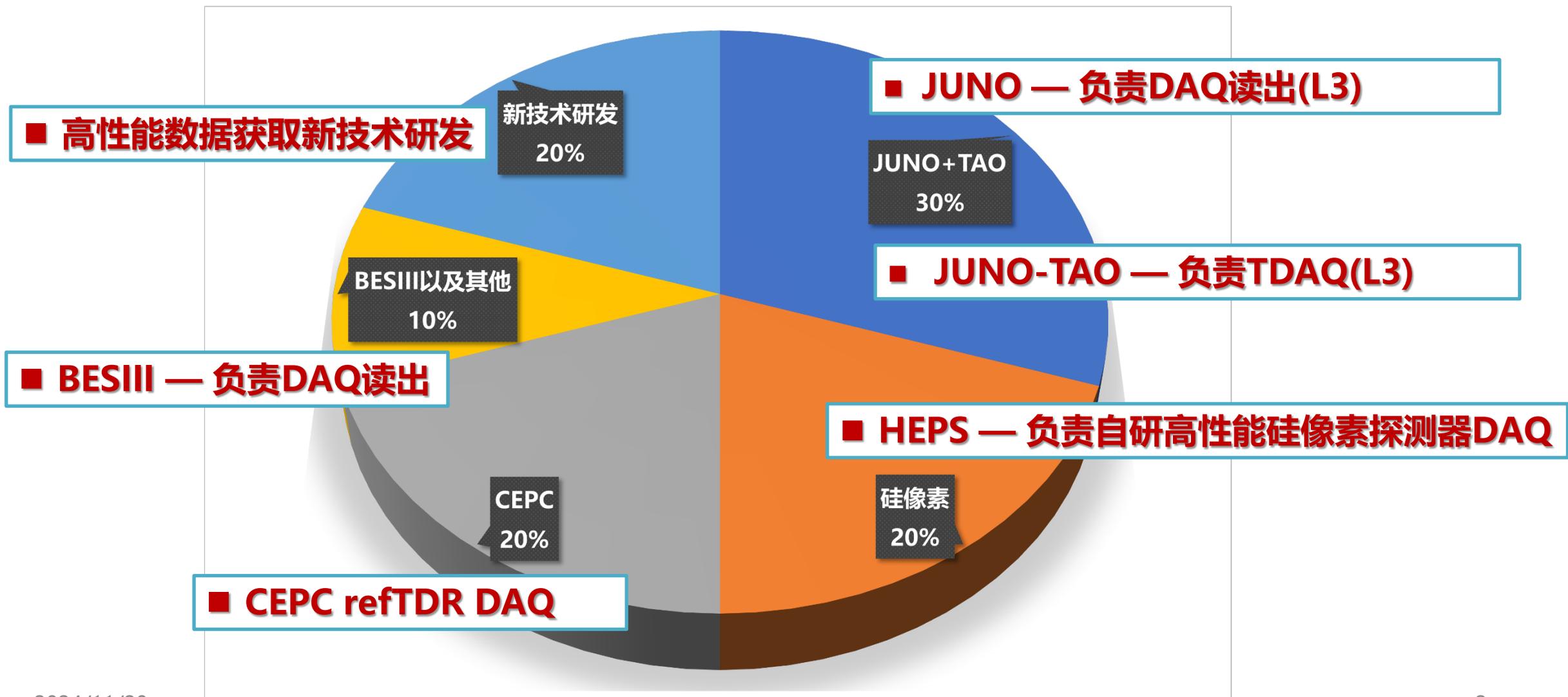
2023.12 ~ 2024.11

季筱璐

触发与数据获取组

2024.11.20

# 岗位职责



# JUNO DAQ读出系统进展

## JUNO读出面临的挑战

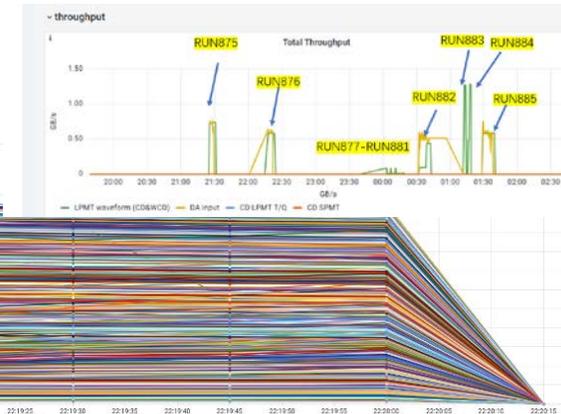
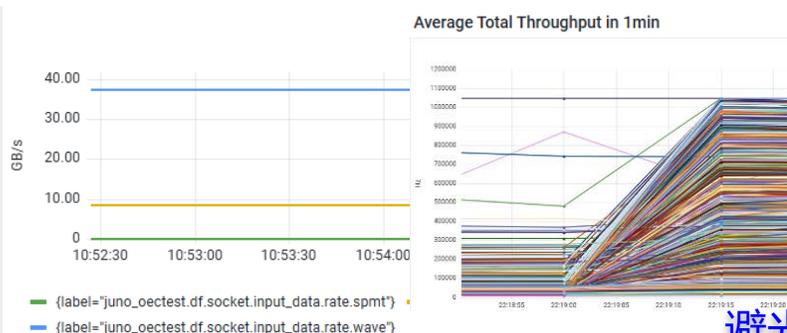
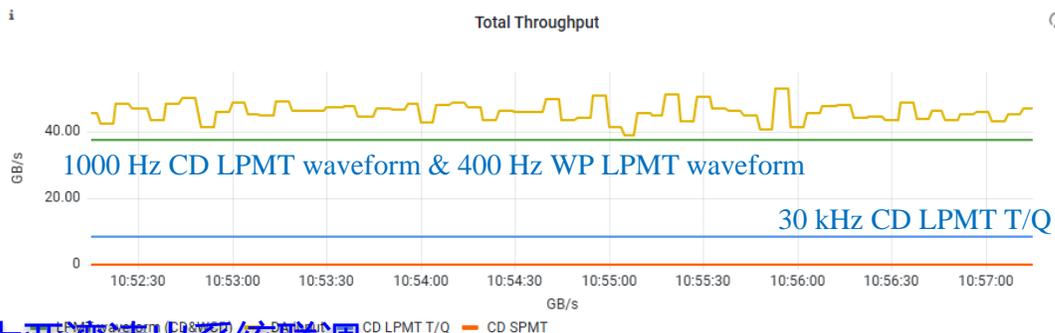
- 国内高能物理实验迄今为止最大的数据读出量
  - 节点多 (~7 k), 通道多 (~45 k), 超高带宽 (400 Gbps +)
  - BESIII的一千倍, 大亚湾的一万倍, Hyper-K的十倍
- non-stop模式持续稳定运行
  - 超新星中微子物理的特殊需求

## 读出系统开发

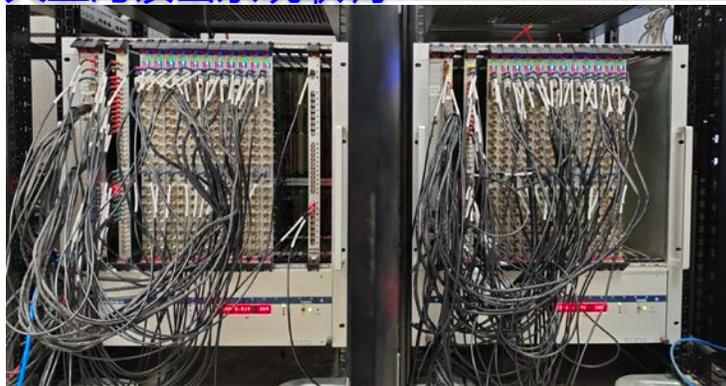
- 全部读出插件部署集成完成90%+
- 完成全规模验证
- 大亚湾PMT DAQ系统重新部署研发
  - 克服困难: 软硬件环境变化, 资料不全
  - 已成功完成核心功能开发, 即将安装

## 读出链系统级联调

- 配合电子学持续固件升级
- 多个测试平台同步联调、验证
- 探测器安装联调 (DAQ联系人)
- 顺利完成今年6次避光测试

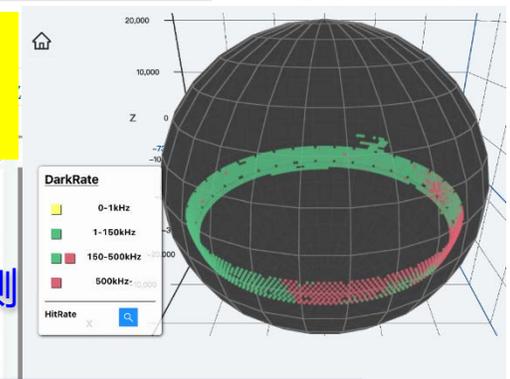


## 大亚湾读出系统联调



2024/11/20

## 避光测试中的LPMT DCR实时监测



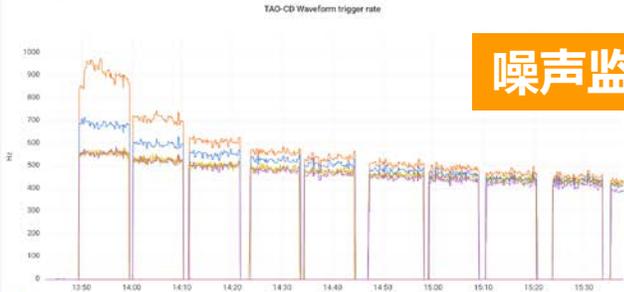
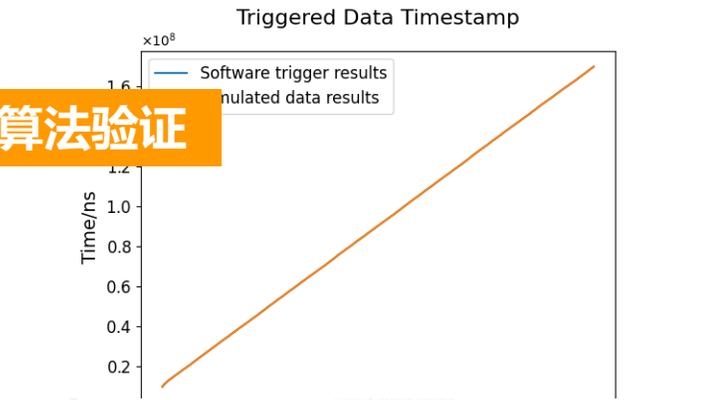
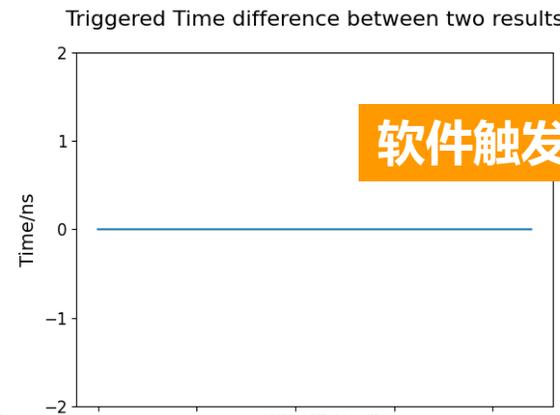
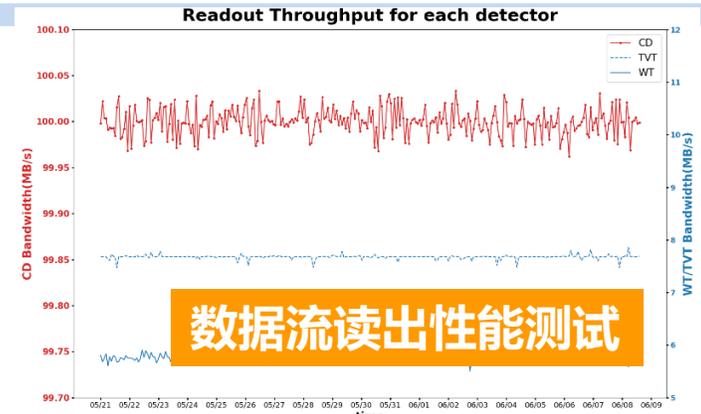
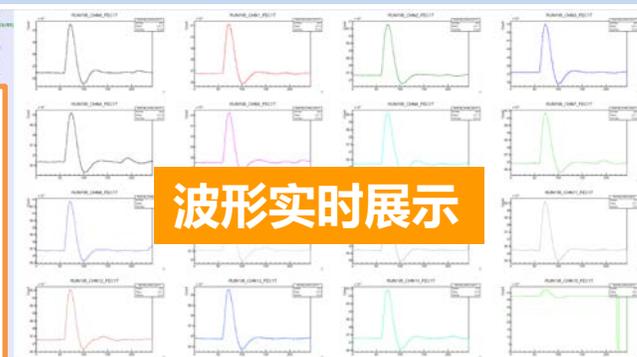
安装测试基本完成, 3个月后即将转入运行取数阶段  
 → 全力做好运行前准备调试工作, 保障取数质量



# TAO DAQ系统研发进展

- 系统级功能升级和性能优化
  - 数据库、数据格式兼容JUNO
- 提供全面在线数据质量监测
- **实现高性能并行在线数据处理**
  - 多种软件触发算法集成与验证
- **全规模数据流稳定运行超2周**
- 多套调试系统，获取超30TB联调数据
- 支持台山现场安装测试

**DAQ系统已准备就绪，正式运行版本已发布**  
**兼容JUNO DAQ，方便统一运维**



# TAO DAQ远程值班系统开发进展

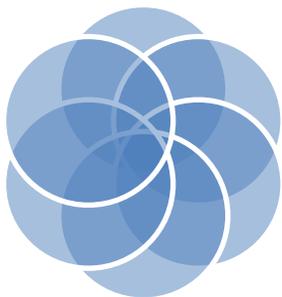
权限管理

CheckList

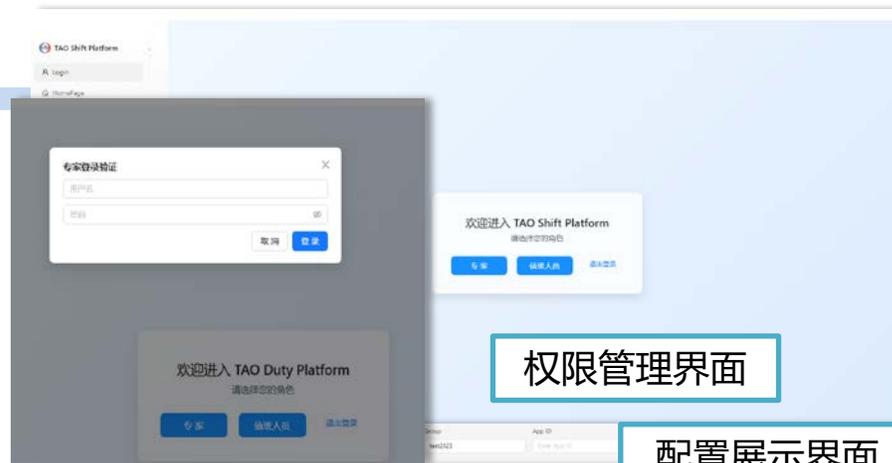
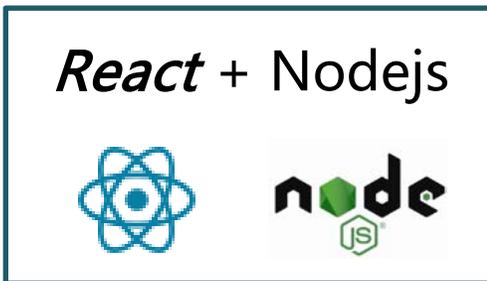
运行控制

智能助手

配置展示

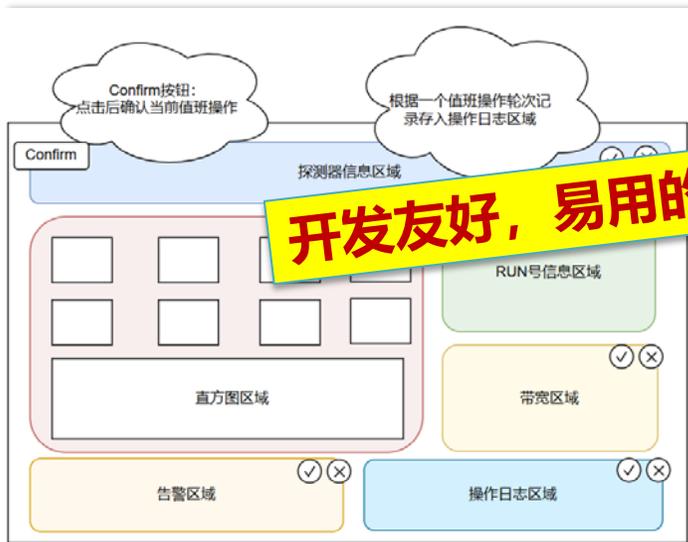


系统监测



权限管理界面

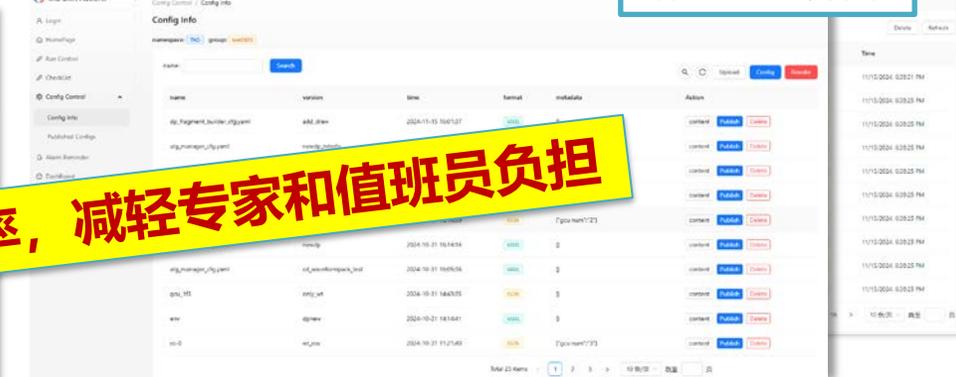
配置展示界面



CheckList界面设计原型



运行控制界面



数据监测界面



智能助手界面

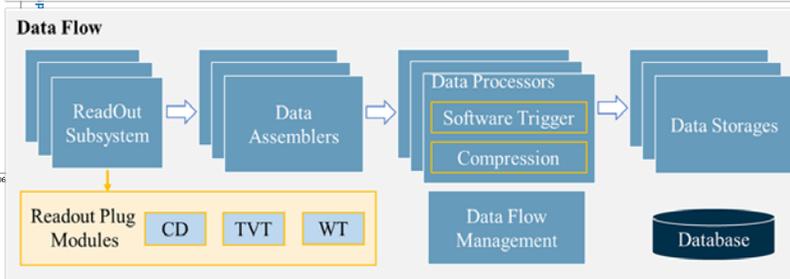
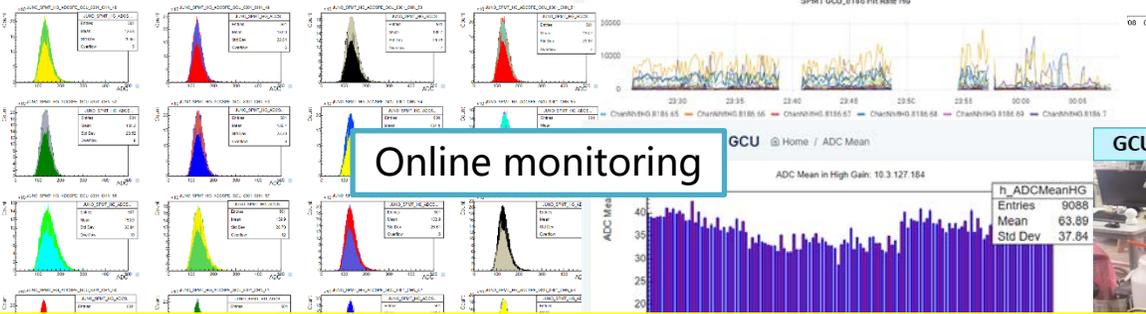
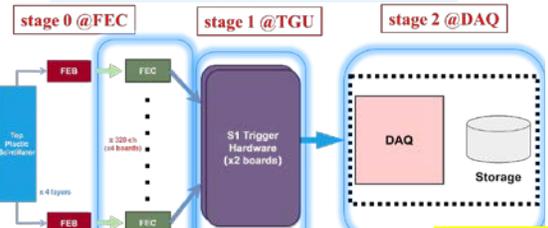
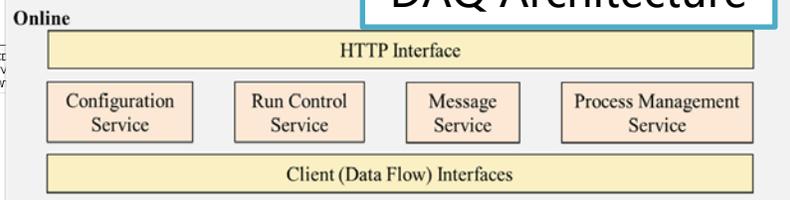
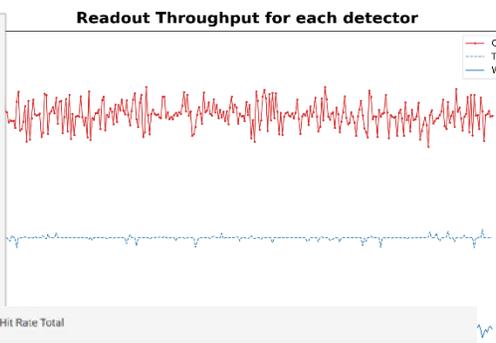
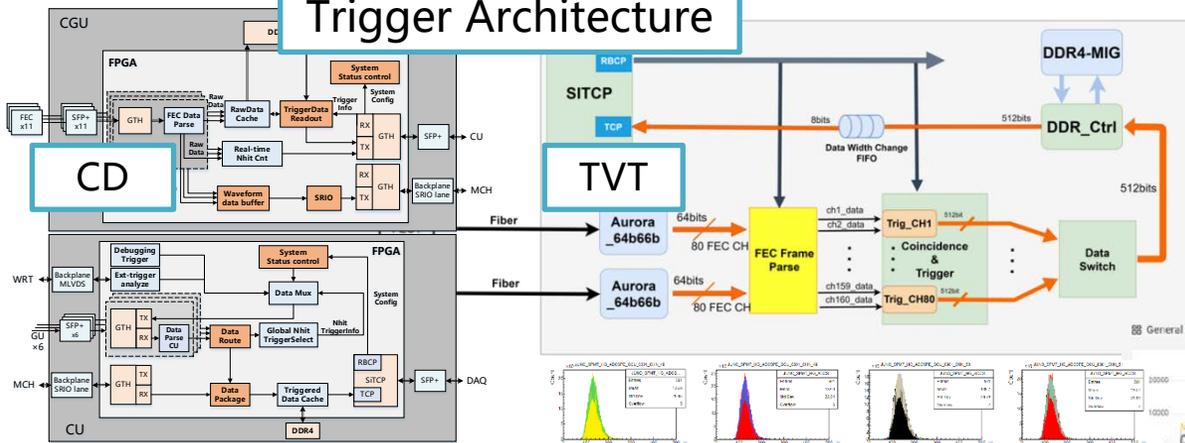
开发友好，易用的远程值班系统，提升实验运行效率，减轻专家和值班员负担

- 核心内容集成测试中，即将完成开发部署
- 智能助手功能完善中

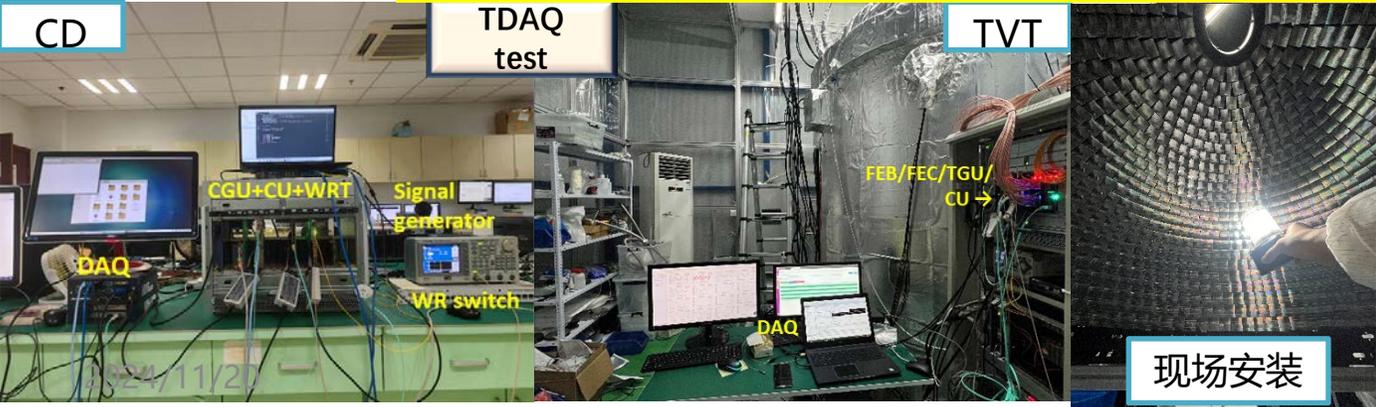
# TAO TDAQ系统整体进展

## DAQ Architecture

### Trigger Architecture



**明年1月即将完成现场安装 → 保障实验顺利转入运行，高效获取数据**



- ◆ 自研硬件均已就绪
- ◆ 软硬件触发核心逻辑验证完毕
- ◆ CD原型探测器上完成了~100路规模集成验证
- ◆ WT、TVT平台均已搭建完整读出链测试系统

现场安装

# HEPS-BPIX4 DAQ系统设计升级

探测器	HEPS-BPIX3	HEPS-BPIX4
阈值	1	2
像素/个	1.44 M	6 M
最大带宽 (Gbps)	22	200

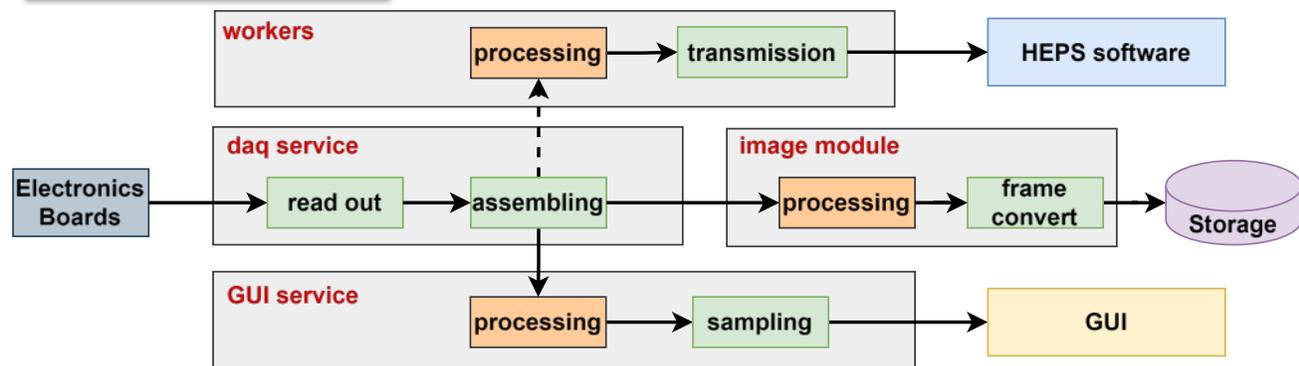
性能指标大幅提升，原有框架面临挑战

面向高密度极致需求，构建高集成高性能系统

升级软件框架、优化代码结构

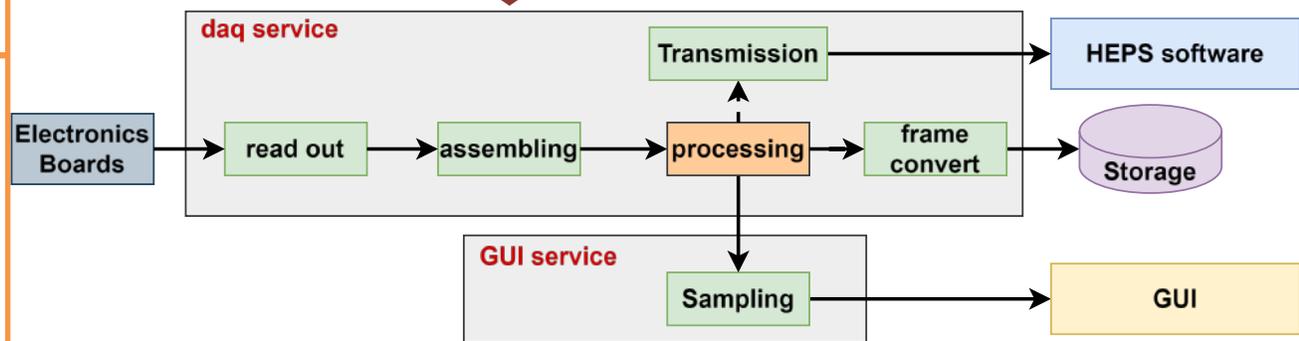
- **精简模块设计**: 消除冗余，提高集成度
- **清晰功能划分**: 易于维护、升级与扩展
- **资源灵活配置**: 优化并行度，提升资源利用率
- **成熟开源库应用**: 增强功能可靠性

## 上一代数据流



## 新数据流架构

## 更高效简洁的数据流



Design and Implementation of DAQ System for HEPS-BPIX4, DOI: 10.1109/TNS.2024.3491293

# 图像数据压缩方案研究

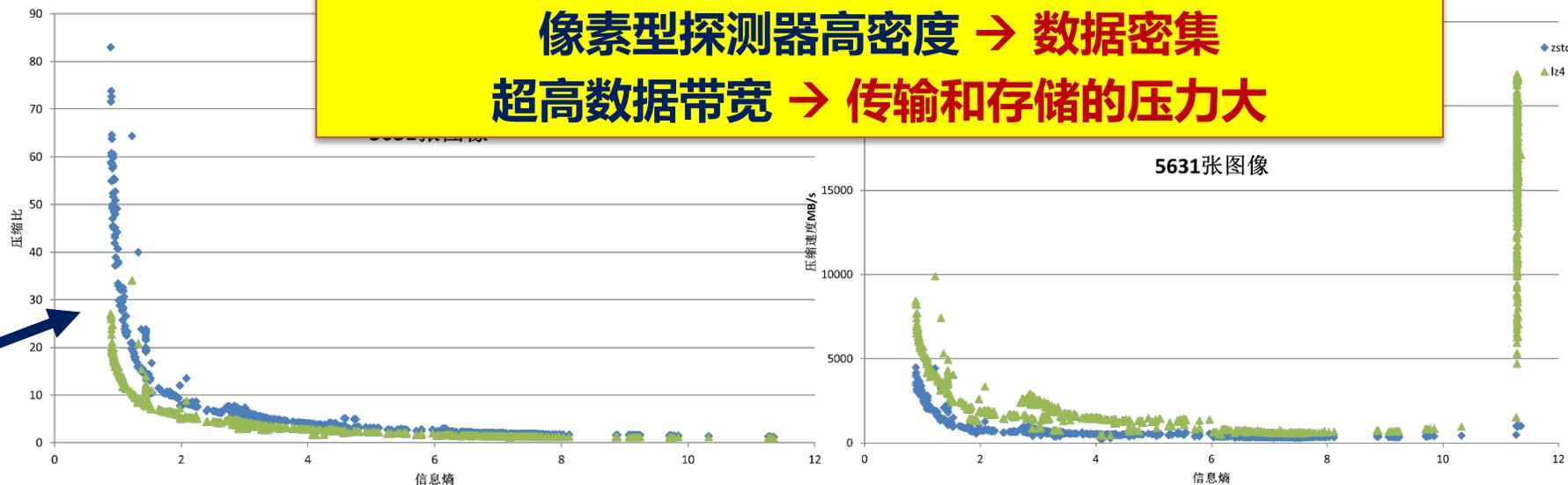
## 无损压缩

- 研究多种开源算法
  - LZ4、ZSTD算法
- 预先检测可压缩性
  - 信息熵统计
  - 预处理算法

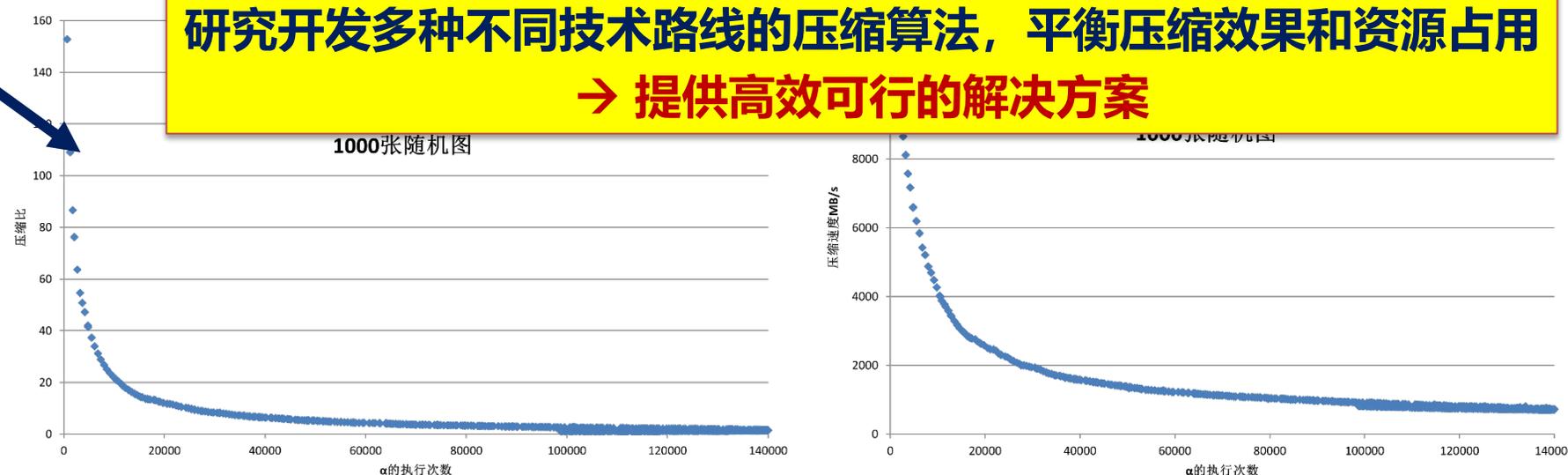
## 有损压缩

- 人工划定ROI
- 基于深度学习的ROI自动提取

像素型探测器高密度 → 数据密集  
超高数据带宽 → 传输和存储的压力大

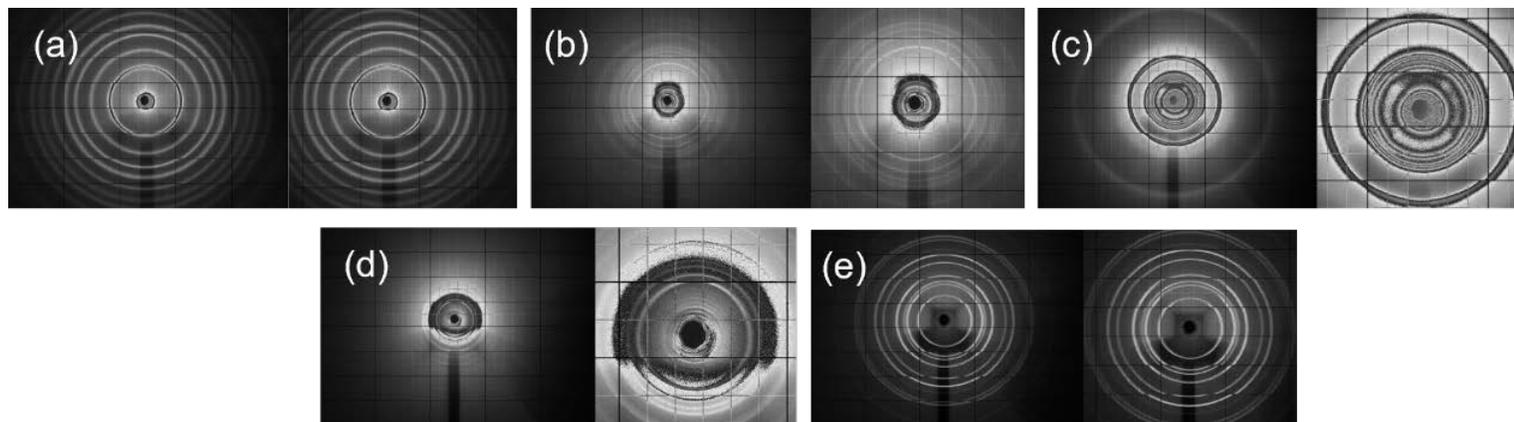
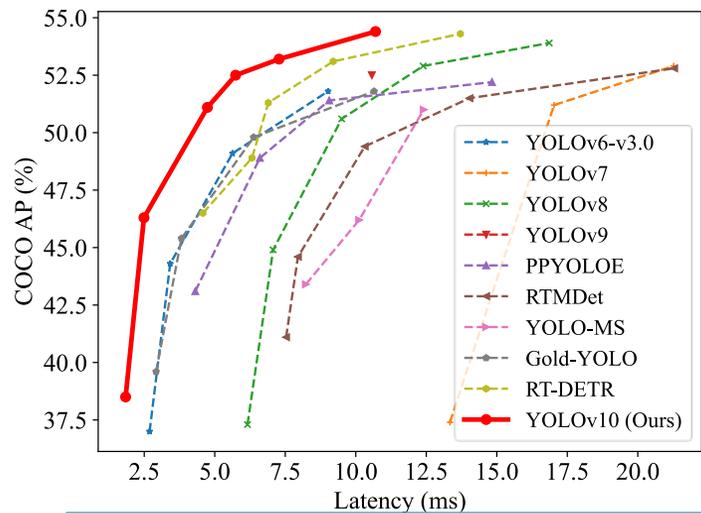


研究开发多种不同技术路线的压缩算法，平衡压缩效果和资源占用  
→ 提供高效可行的解决方案

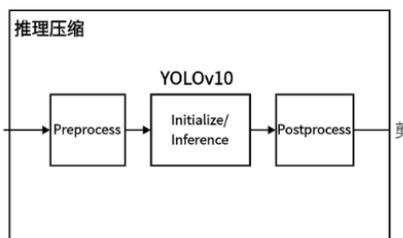
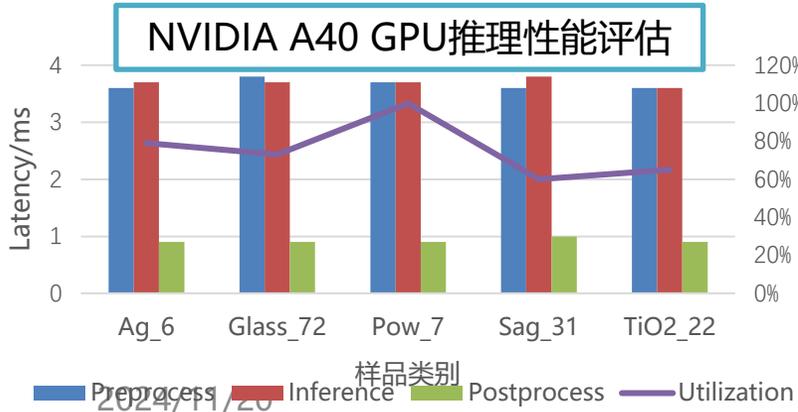


# 基于深度学习的目标检测算法研究与应用

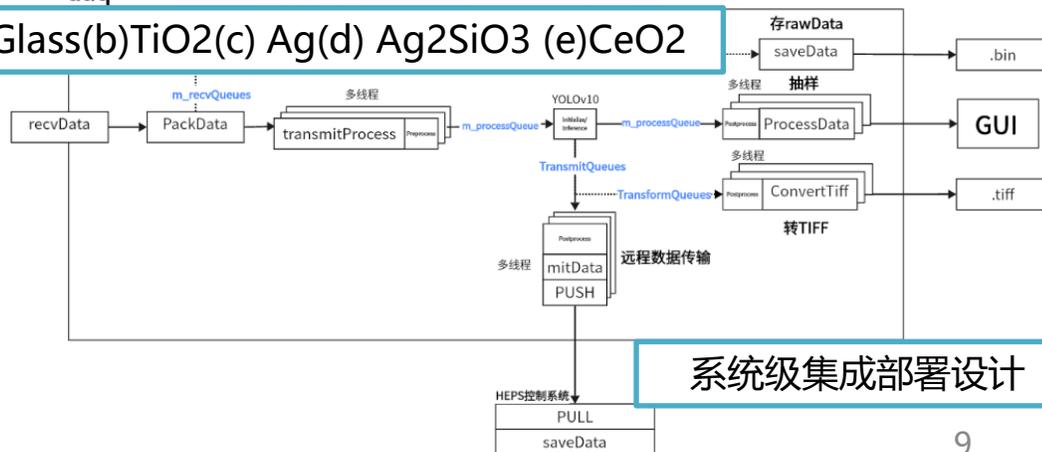
- 自动提取ROI → 对图像剪裁压缩
- 优化模型部署设计, 成功实现系统集成, 实时对接数据流
- 为高带宽图像数据的压缩提供解决方案



剪裁压缩效果测试(a)Glass(b)TiO2(c) Ag(d) Ag2SiO3 (e)CeO2



压缩模块设计

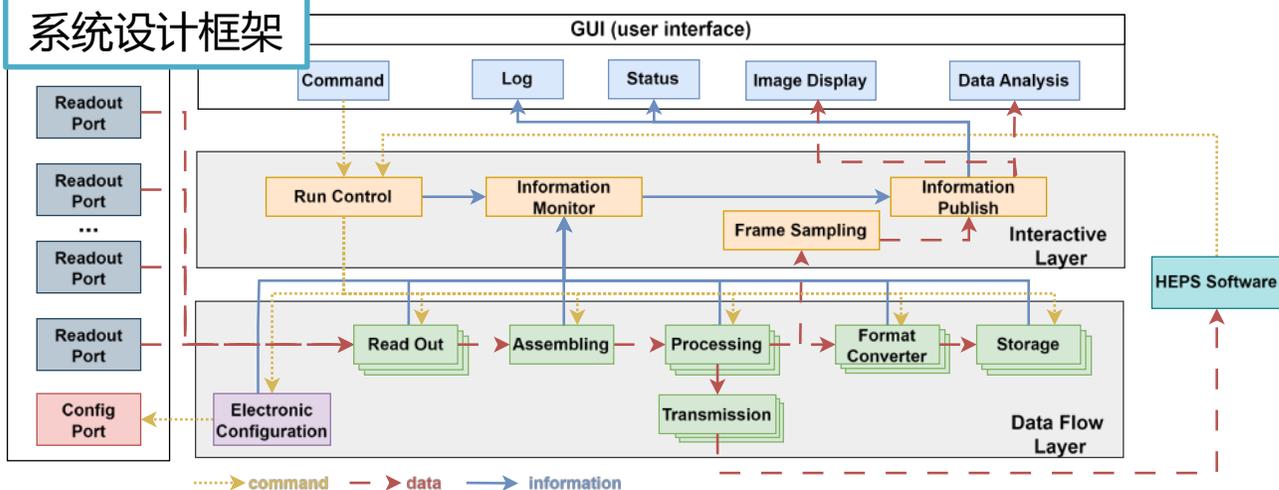


系统级集成部署设计

# HEPS-BPIX4 DAQ研发现状

**BPIX4 6M即将正式部署于HEPS**  
**第一阶段目标: 100Hz (20Gbps)**  
**最终目标: 1000Hz (200Gbps)**

## 系统设计框架



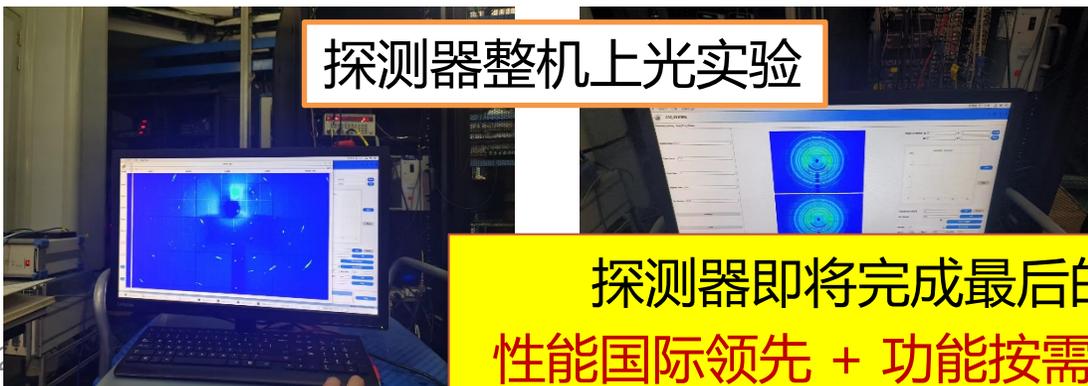
## 系统开发

- DAQ全部功能完成开发
- 实现便捷部署: 脚本 + 容器化部署
- 工程进度非常紧张 → 开发全套测试工具
  - 提前自检验证, 提升调试效率 → 加快工程进度

## 探测器验证

- **首次探测器整机成像实验 2024.6**
  - 系统连续运行 > 7h, 获取 ~2TB 实验数据
  - **通过线站内部验收**
- **首次探测器整机指标性能验证 2024.10**
  - **实现100Hz (当前目标)** 连续稳定运行 > 4h
- DAQ->HEPS软件数据传输接口成功验证
  - CBOR高速序列化 + ZMQ

## 探测器整机上光实验



探测器即将完成最后的收尾测试, 年底进行HEPS线站安装联调  
性能国际领先 + 功能按需定制 + 稳定运行 → **增强国产探测器的竞争力**

# 新技术研发与应用

面向先进实验装置的需求，面对更高带宽的实验数据、更多元的实验信息  
研究在线实时数据传输、提取、监测、分析的软硬件平台+优化技术方案

## 软硬件平台研发建设

RADAR异构流式  
读出框架研发

基于RADAR的实  
验智能运控平台

国产异构平台调  
研与可行性研究

## 通用技术方法研究 — GPU + AI(LLM、Deep Learning...)

基于GPU在线处  
理加速方法研究

基于LLM的DAQ  
智能运维助手

通用在线数据可  
视化系统ROBOT

基于深度学习的  
实时直方图异常  
检测方法研究

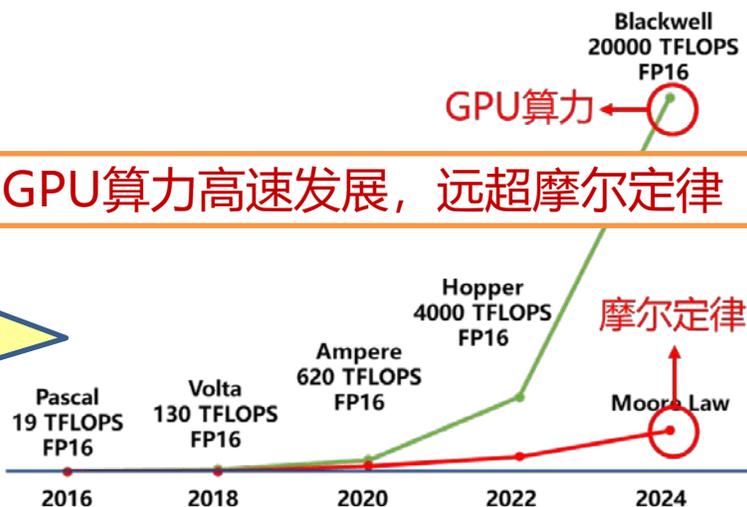
# Radar异构流式读出框架研发

heterogeneous Architecture of Data Acquisition and pProcessing

**流式 (triggerless) 读出:** 灵活、易扩展、易升级、可处理复杂逻辑 → 海量数据**实时处理**

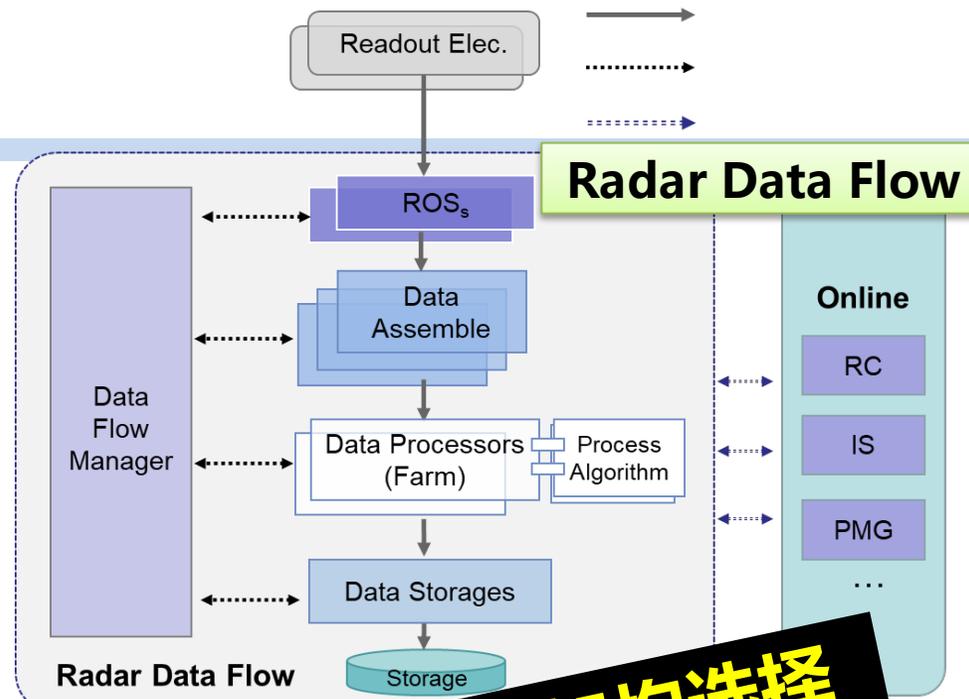
计算加速和异构平台使我们能够跟上实验的步伐并最大化物理产出

GPU算力高速发展, 远超摩尔定律

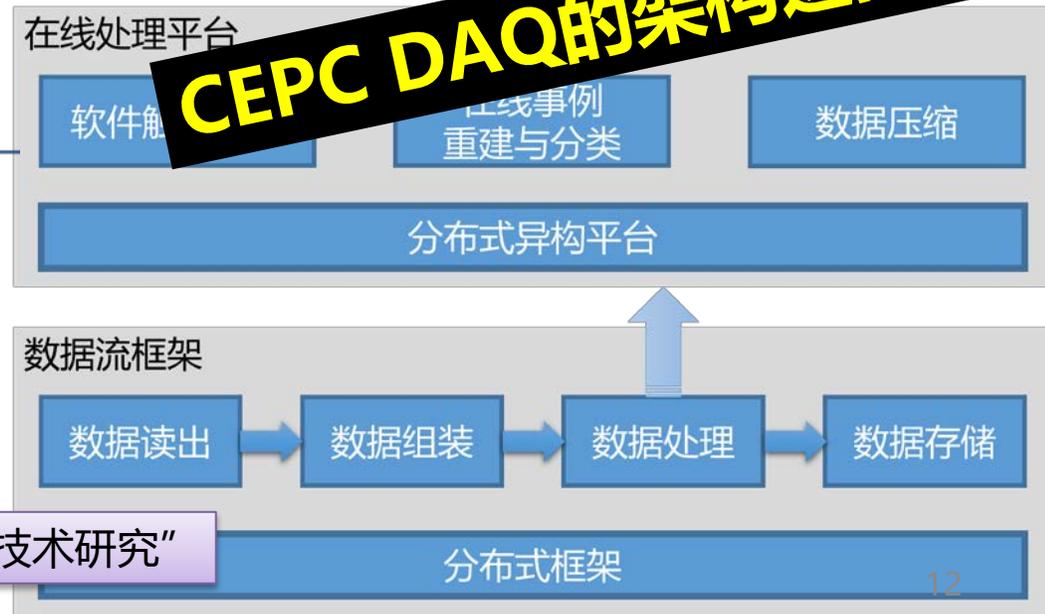


- 构建自研DAQ异构流式框架 — **通用软件平台**
- 研究分布式高性能读出与异构处理
- 聚焦: **异构在线处理平台、实时处理加速方案**

所创新课题 “面向高能物理实验的高带宽无触发数据获取与在线处理关键技术研究”

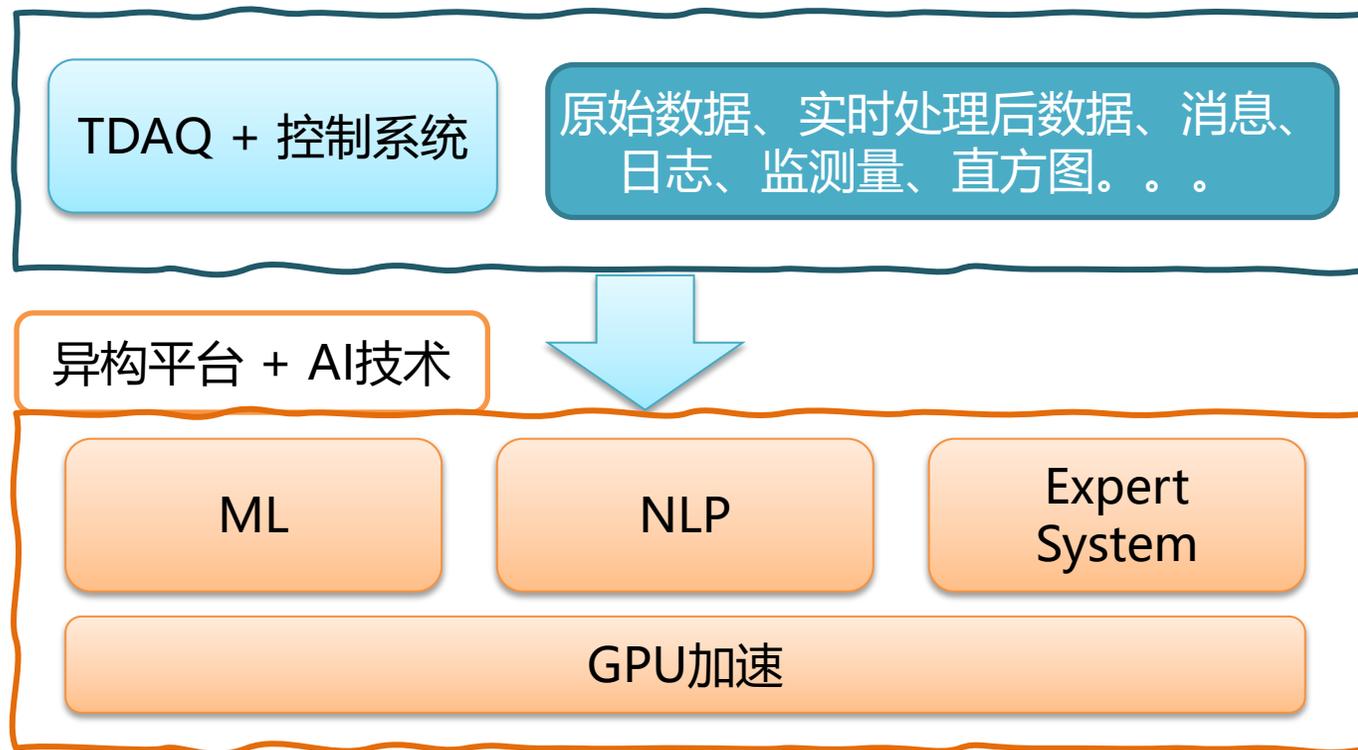


**CEPC DAQ的架构选择**



# 基于Radar的实验智能运控平台

◆ 面向不同领域（DAQ、触发、控制等），结合AI技术（ML、NLP、专家系统等）



- 实时数据分析与优化
- 自动化故障诊断与预防维护
- 增强的数据查询与交互
- 知识管理与决策支持
- 自动化实验记录和文档生成

具备自动化和智能化能力、提高数据处理的效率、高效的实验产出

# 国产异构平台的调研与可行性研究

特点对比	优势	不足
海光DCU	CUDA生态兼容, HPC支持强, 工具链成熟	面向 AI/深度学习的优化较弱, HIP虽兼容 CUDA, 但性能仍有差距
寒武纪 GPU	AI推理和训练优化强, 提供底层算子开发工具	CUDA兼容性差, HPC支持较弱
昇腾GPU	AI推理和训练优化强, 硬件优化好, 推理性能高	非AI场景支持弱, 工具链学习成本高
摩尔线程 GPU	CUDA兼容性高, HPC与图形渲染兼顾	AI优化能力不足, 分布式训练和大规模数据集处理表现一般

## DCU开发环境友好

- 开发工具和环境较友好, 适用科学计算和深度学习
- 支持使用HIP、OpenCL等编程接口开发

## 基于曙光平台的海光DCU

- 移植CUDA代码, 部署JUNO波形重建测试代码
- 成功运行, 结果正确
- 初步尝试国产异构平台在DAQ在线处理中的应用

2024/11/20

DCU Z100与NVIDIA V100的主要性能参数

GPU		DCU	V100
核心频率		1443Mhz	1380Mhz
运算性能	FP64	5.9 TFLOPS	7.0 TFLOPS
	FP32	11.8 TFLOPS	14.0 TFLOPS
	FP16	23.6 TFLOPS	28.0 TFLOPS
显存	容量	16GB	32GB
	带宽	800GB/s	900GB/s
	位宽	4096bit	4096bit
	类型	HBM2	HBM2



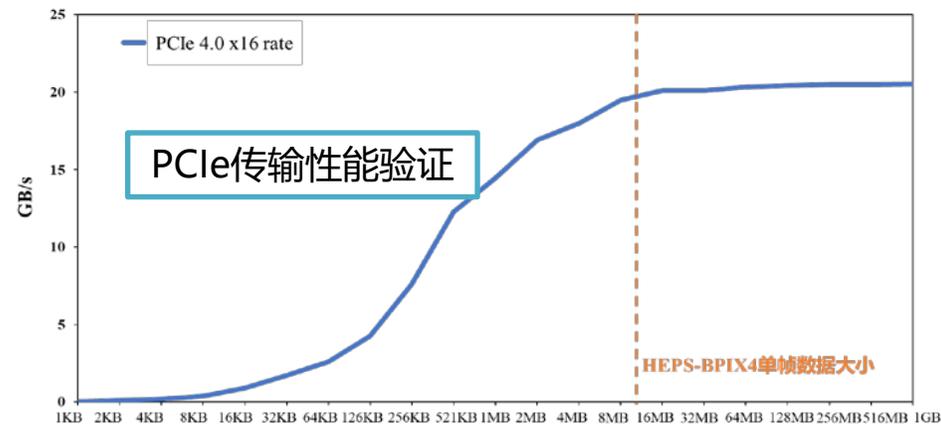
希望能够摆脱对英伟达和CUDA的完全依赖, 和国产平台一起发展

	Z100 (ms)	A30 (ms)	对比
数据加载	0.123	0.095	129.4%
计算执行	629.054	163.177	385.5%

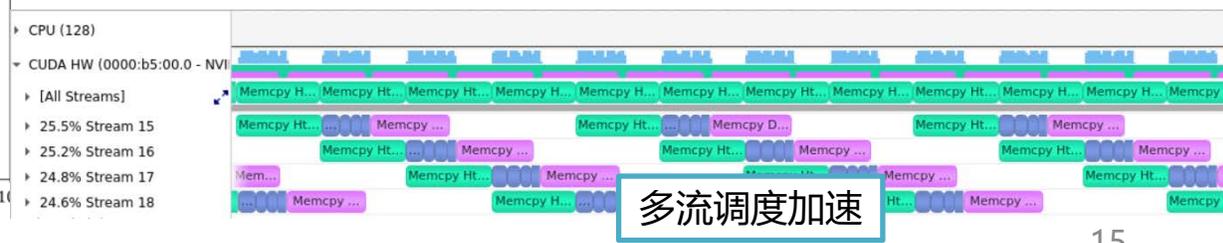
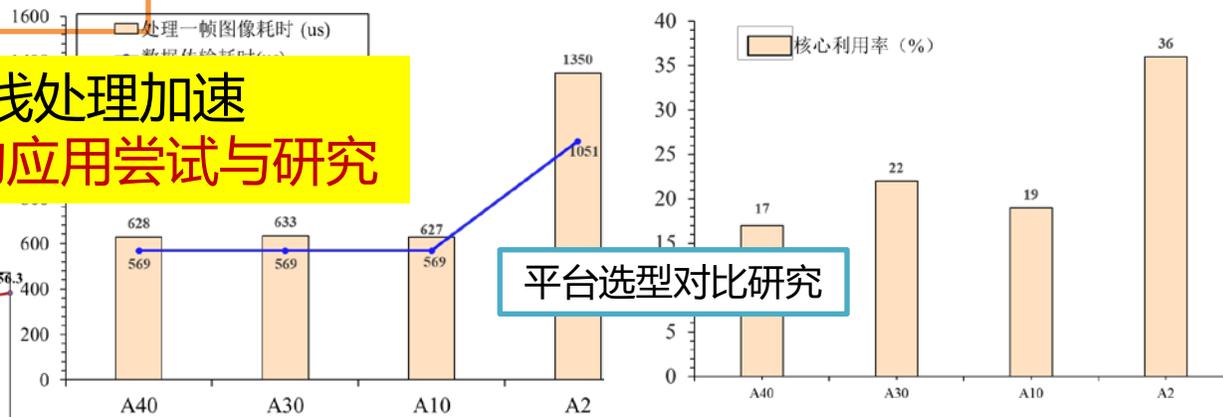
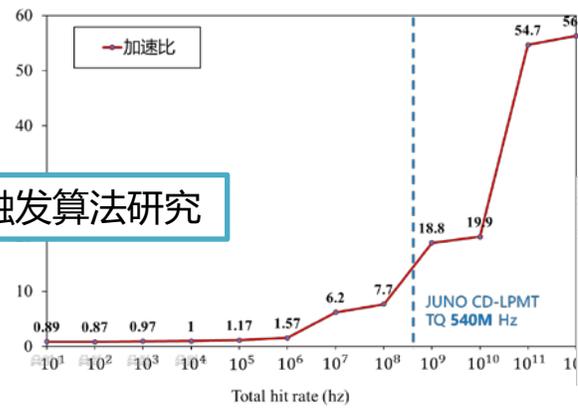
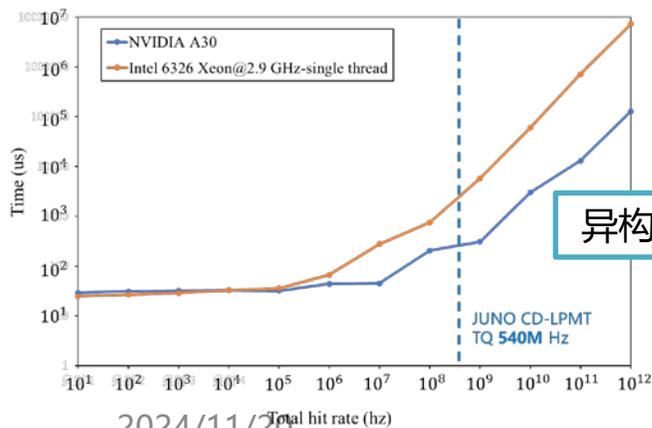
NVIDIA A30与DCU Z100运行JUNO波形重建代码

# 基于GPU的在线处理加速方法研究

- 结合典型实验场景，研究异构加速方案与优化策略
- HEPS-BPIX4 DAQ在线处理异构方案研究**
  - 完成功能实现与数据流集成，整体加速比~35
- 多重计数触发算法异构加速方案设计与实现**
  - 基于异构平台实现，性能提升一个量级
- 积累了异构平台的实时数据处理的经验



异构并行计算性能优异，适用高性能高集成度的在线处理加速  
 将继续拓宽研究，结合实验场景（CEPC）做更多的应用尝试与研究



# 基于大语言模型LLM的运维助手

- ◆ 第一个应用：TAO实验值班助手
- ◆ 已有初步可用版本，正在持续优化中
- ◆ 未来将尝试应用于其他实验



## 智能化信息查询及自动化异常分析

优化决策、提升实验操作效率

实验信息的私域查询

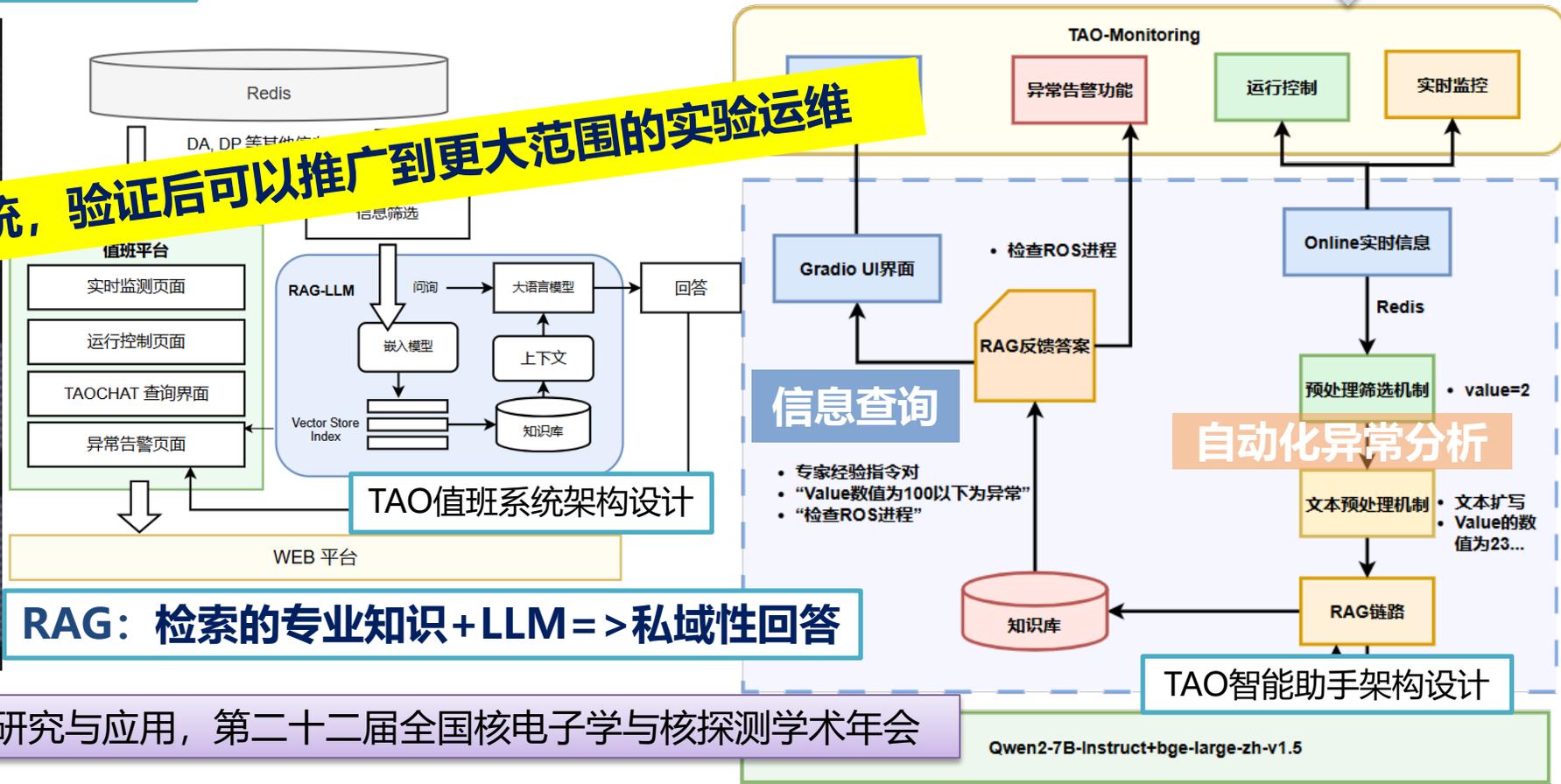
信息的知识库管理

异常情况的分析及告警

友好的人机交互



第一步应用于值班系统，验证后可以推广到更大范围的实验运维



RAG: 检索的专业知识+LLM => 私域性回答

大语言模型在TAO实验值班系统中的研究与应用，第二十二届全国核电子学与核探测学术年会

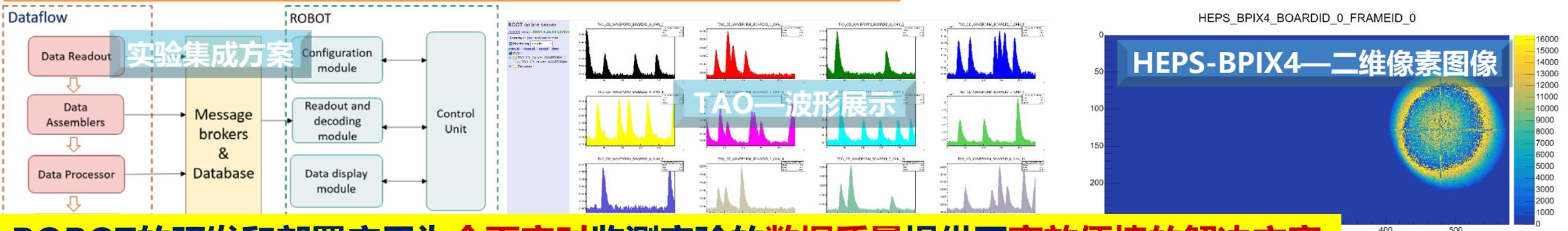
2024/11/20

# 通用在线数据可视化系统 (ROBOT)

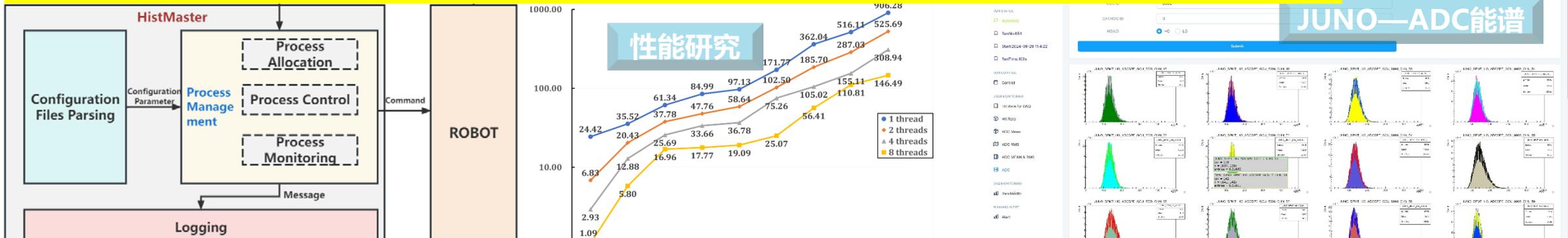
**实时全面监测数据质量，在联调运行阶段至关重要**

- 解决不同实验、探测器**重复开发**在线监测系统的**痛点**
- 研发**通用**数据可视化系统

- **成功应用于JUNO、TAO**
  - 实现5W+ 直方图同时实时监测
  - 稳定性和通用性得到验证
- 研究设计更大规模分布式部署策略



**ROBOT的研发和部署应用为全面实时监测实验的数据质量提供了高效便捷的解决方案，为智能化监控平台提供重要输入**



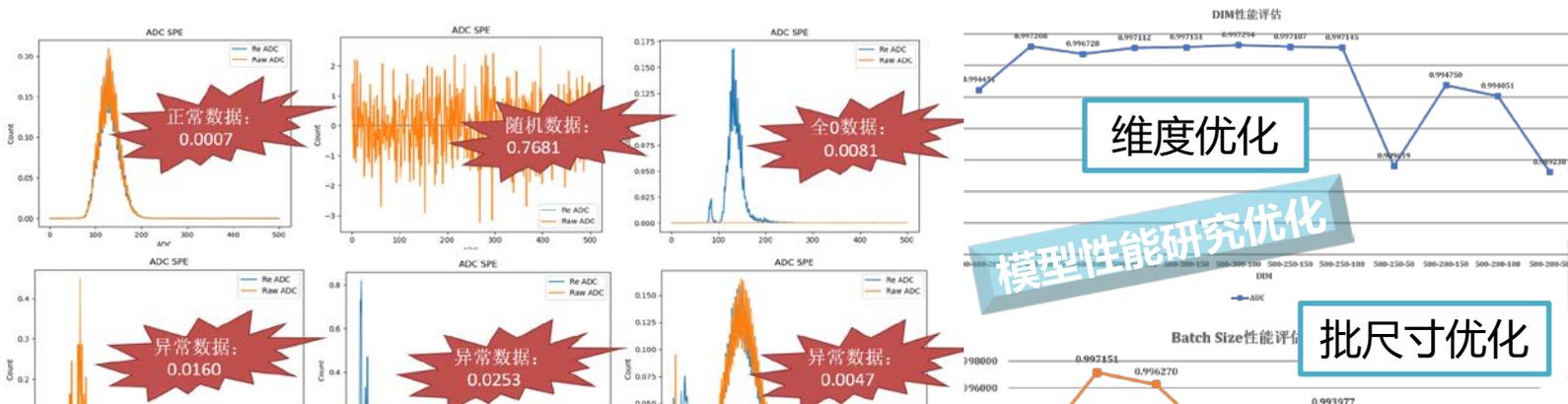
2024/11/20

A ROOT-based General Online Data Visualization System, DOI: 10.1109/TNS.2024.3495676

# 基于深度学习的实时直方图异常检测

- 解决**大规模系统中人工检查耗时耗力，易漏检**的痛点
- 基于深度学习实现**自动化实时异常检测**

- 完成无监督学习模型搭建和训练
- 自动化数据集准备和模型结果比对
- 完成模型性能优化与评估
- **实际部署应用，实时交互数据流**

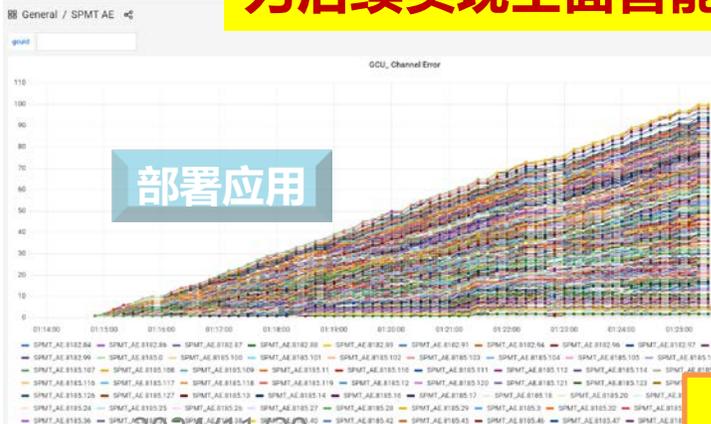


维度优化  
模型性能研究优化

批尺寸优化

CPU环境	直方图数量	检测时间	精准率
AE模型	2560	0.2324s	0.64
统计方案	2560	2.3433s	0.33

方案的可行性得到验证 → 将推广到JUNO-LPMT、TAO等**通道密集型的实验探测器系统**为后续实现全面智能化实验运控提供关键处理



模型结构优化

损失函数优化

模型结构	AUC	损失函数	AUC
三层	0.997151	MSE	0.997151
五层	0.971983	BCE	0.948387
		KL散度	0.341959

模型功能验证和效果评估



◆ 成功预测 > 99% 异常

已成功应用于JUNO-SPMT三轮避光测试，实现 > 2.5万通道实时异常检测

# 争取经费与课题参与情况

- 成功申请所创新课题《面向高能物理实验的高带宽无触发数据获取与在线处理关键技术研究》
- 参与CEPC 探测器设计与预研、北京正负电子对撞机数字化智能化改造项目等课题申请工作 — 获批
- 申请面上，2024，未获批

项目名称	项目类别	项目经费	本人角色	起止时间
面向高能物理实验的高带宽无触发数据获取与在线处理关键技术研究	所创新	60万	主持	2024-2026
用于先进像素阵列探测器的高性能数据获取方法研究	国家自然科学基金	30万	主持	2022~2024
CPU/GPU混合异构在线数据处理关键技术研究	核重实验室课题	20万	主持	2023~2024
CEPC 探测器设计与预研	河南省科学院	TDAQ 400万	DAQ核心成员	2024-2027
北京正负电子对撞机数字化智能化改造项目	发改委	分总体765万	子系统负责人	2024-2026
LHAASO数字化智能化改造项目	发改委	分总体318万	子系统负责人	2024-2026
反应堆监测新技术及相关物理研究	国家重点研发计划	个人负责~ 50万	TDAQ系统协调人	2023~2027
HEPS高能同步辐射光源	国家重大科技基础设施	待定	负责BPIX系列探测器DAQ	2019~
JUNO数据获取与探测器监测	先导	个人负责经费 ~ 500万	负责DAQ读出系统	2013~
BEPCII-北京谱仪	国家专项任务	4157万	负责DAQ读出系统	2014~

# 文章、报告、学术交流

1	Design and Implementation of TAO DAQ System	RDTM, October 2024 DOI: 10.1007/s41605-024-00496-3	通讯
2	A ROOT-based General Online Data Visualization System	TNS, November 2024 DOI: 10.1109/TNS.2024.3495676	通讯
3	Design and Implementation of DAQ System for HEPS-BPIX4	TNS, November 2024 DOI: 10.1109/TNS.2024.3491293	通讯
4	Design and Development of JUNO DAQ Data Flow Software	TNS, October 2024 DOI: 10.1109/TNS.2024.3484513	合作
5	Study of Calibration for the Dual-Threshold Hybrid Pixel Array Detector of HEPS-BPIX40	TNS, November 2024 DOI: 10.1109/TNS.2024.3493243	合作
6	A multiplicity software trigger algorithm for JUNO	合作组第二轮审核中	通讯

- **RT2024, oral报告《JUNO DAQ Design and Status》**
- **参加第二十二届全国核电子学与核探测技术学术年会并主持分会**
- **积极鼓励并指导学生参与国内外领域相关会议并做报告, 国内1次国际5次**
  
- **组织TAO TDAQ例会、RADAR项目讨论会**
- **组内例会、项目(JUNO、TAO、CEPC、HEPS-BPIX4、CGEM等)例会、讨论会、合作组会等**
- **技术相关的交流与讨论**

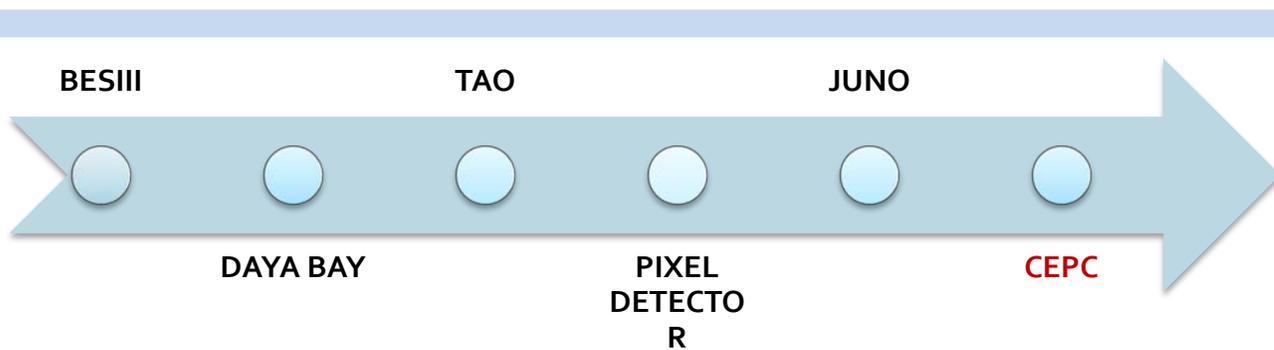
# 公共服务

- BESIII DAQ读出系统运维 + BESIII DAQ oncall
- 《核电子学与探测技术》计算机方向学科编委及审稿
- JINST审稿、论文答辩评审等

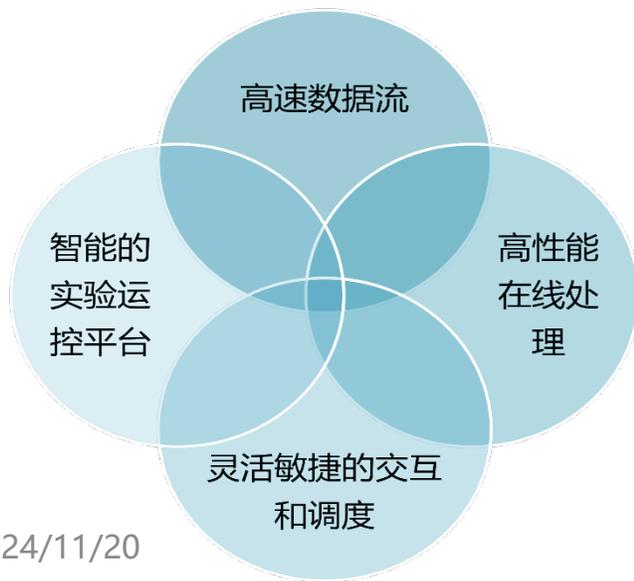
# 研究生培养

- 博士3人，硕士4人
- 客座1人，联培生1人

# 学术发展规划：TDAQ先进技术



- ↑ 大型装置TB/s+的实验数据带宽
- 先进探测器数据密度
- 研究更先进的技术，设计更优化的方案



2024/11/20

## 密切结合高能所“1-7-5发展规划”

### IHEP “1-7-5 Development Plan”

**One Vision:** One of the world’s leading particle physics research centers, and a world-class, large-scale, comprehensive, multidisciplinary research base.

#### Seven Priority Development Areas

1. Charm physics
2. Neutrino physics
3. Particle Astrophysics
4. High Energy Photon Source
5. CSNS-II and SAPS
6. Key tech of large-scale research infrastructures
7. Development and application of radiation tech

#### Five Emerging and Frontier Areas

1. High Energy Colliders and Collider Physics
2. Extreme universe and high energy cosmic rays
3. Quantum computing and AI in HEP
4. Plasma wakefield acceleration
5. Electronic technology for wireless detectors

面向未来，服务实验

# 下年度工作计划

- 2025 JUNO、JUNO-TAO、HEPS-BPIX4: 开发 → 运行
- BESIII: 保障CGEM顺利取数, 维护、运行保障, 配合实验升级优化
- CEPC: 全力做好refTDR的相关工作 (2025.6), 推进项目研发
- 结合所发展规划
  - 积极参与各项工程任务
  - 配合先进探测器、电子学的研发
  - 研究数据获取新技术

Thanks!