

ATLAS中国组工作总结



陈新（清华大学）
代表ATLAS中国组



第六届中国LHC物理工作会议

2019/11/6-8，清华大学



TDLI
李改道研究
所

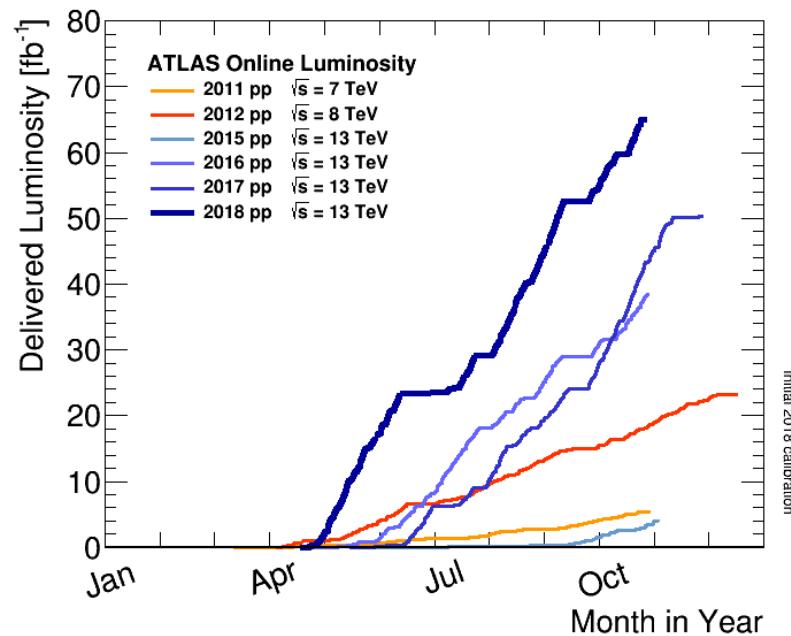
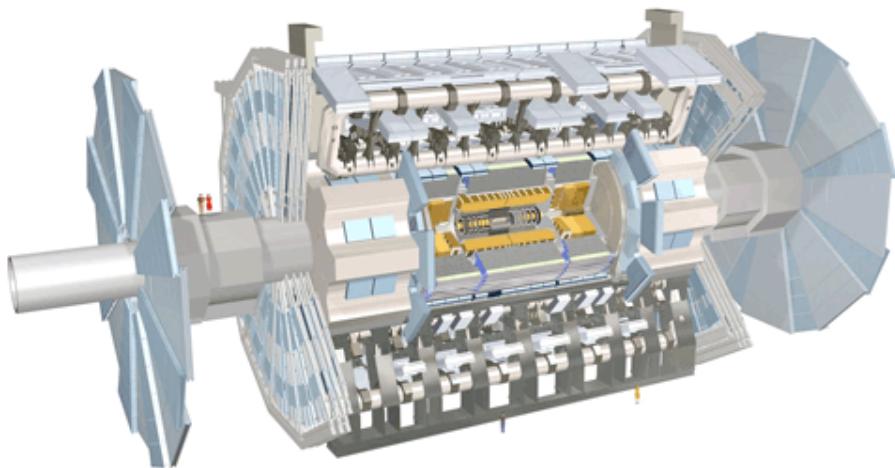
Large Hadron Collider——LHC 大型强子对撞机位于日内瓦的欧洲核子中心CERN



- 周长27公里，横跨瑞士-法国边境
- 世界上最大、能量最高的对撞机 —— 粒子物理研究的最前沿

ATLAS实验

ATLAS是LHC上主要的通用实验之一，是世界上最大的粒子物理探测器。



LHC Run-1: 2010-2012 7-8TeV 质子-质子对撞 $\sim 26 \text{ fb}^{-1}$
Run-2: 2015-2018 13TeV 质子-质子对撞 $\sim 139 \text{ fb}^{-1}$

ATLAS合作组



国内外从事相关研究的主要机构

ATLAS合作组包含38个国家、180多个研究机构的近5000名研究者（其中3000名签名作者，约35%是研究生）。

- **ATLAS中国组：**

中科院高能物理所
中国科学技术大学
南京大学
山东大学
上海交通大学/李所
清华大学



IHEP-NJU-THU
Cluster(高能所-
南大-清华联合组)

USTC-SDU-SJTU
Cluster (科大-山
大-交大联合组)

**中国组6个单位都参
了本项目**

- **国外著名的研究机构都参加了ATLAS，例：**

欧洲核子中心CERN
德国DESY
德国慕尼黑大学
法国CNRS, Saclay
英国牛津大学, RAL
美国SLAC, BNL
美国哈佛大学
美国密歇根大学
日本东京大学
....

ATLAS中国组 (ATLAS Chinese Cluster)

- 六个单位组成（按英文字母排序）：

- Institute of High Energy Physics (高能所)

- 娄辛丑、Joao Costa、欧阳群、庄胥爱、方亚泉、朱宏博、黄燕萍、梁志军、史欣、吕峰、单连友、徐达、刘佩莲

- Nanjing University (南大)

- 金山、陈申见、张雷、闵天觉、祁鸣

- Shandong University (山大)

- 张学尧、马连良、冯存峰、祝成光、李海峰

- Shanghai Jiao Tong University (上海交大)

- 杨海军、李亮、郭军、周宁、李数、刘坤、邬维浩

- Tsinghua University (清华)

- 陈新

- University of Science and Technology of China (科大)

- 赵政国、韩良、蒋一、刘衍文、刘建北、彭海平、吴雨生、朱莹春、刘明辉、Rustem Ospanov、Antonio Baroncelli

另外还有博士后、学生和工程师及技术人员，共193人

主要物理成果要求

- 成果主要是在ATLAS实验分析中所获得的物理成果，主要呈现形式为国际学术期刊发表和国际学术会议报告（CONF Note）发布两种形式。
- 本报告中的物理结果仅限ATLAS中国组作出**主导**或者**主要贡献**
 - **主导贡献**: 在该物理分析中担任分析联系人（Analysis Contact）或在ATLAS内部撰写期刊文章或会议文集ATLAS-CONT-NOTE时担任联系编辑（Contact Editor）
 - **主要贡献**: 做合作组内各层级的批准报告（approval talks）或担任文章、会议文集的内部编辑（Editors）或代表合作组在国际会议报告与该分析相关的研究成果

希格斯物理研究

Channel	ggF	VBF	VH	ttH	Mass	CP	X-sec.	Width
$\gamma\gamma$	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★
$ZZ^*(4l)$	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★
$WW^*(l\nu l\nu)$	★★	★★	★★	★★				
$\tau\tau$	★★	★★	★★	★				
bb		★★	★★	★★				
$Z\gamma$	★★							
$\mu\mu$	★★	★★	★★	★★				
invisible	★★	★★	★★					

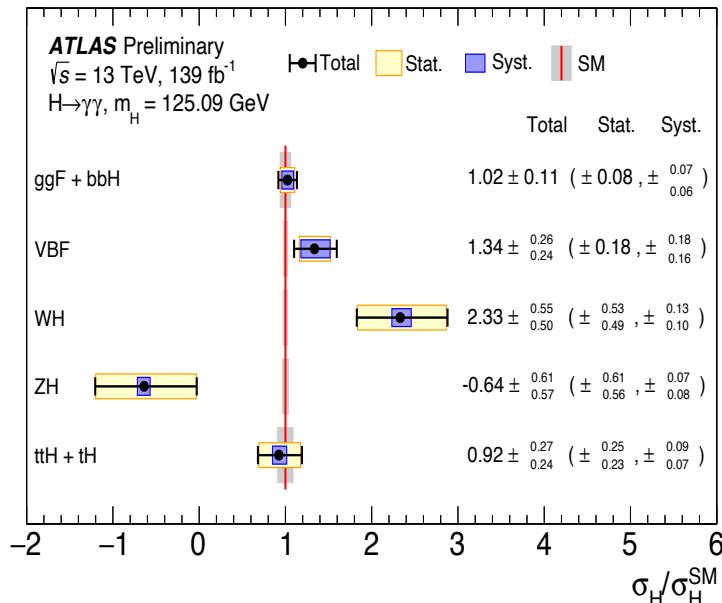
★ ATLAS进行的分析

★中国组贡献的分析

中国组广泛深入地参与了ATLAS实验的 Higgs 粒子性质测量研究

希格斯粒子衰变到玻色子末态

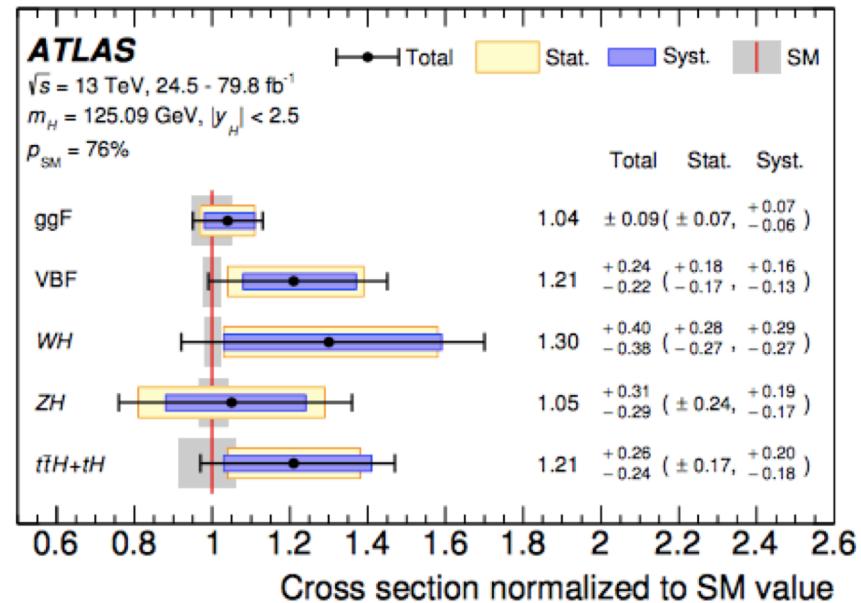
$H \rightarrow \gamma\gamma$ 信号强度测量



ATLAS-CONF-2020-026

- 贡献VH, $H \rightarrow \gamma\gamma$, V轻子道和强子道衰变末态
- 贡献本底分析和估计
- 高能所作出主要贡献

VBF $H \rightarrow VV$ 首次观测

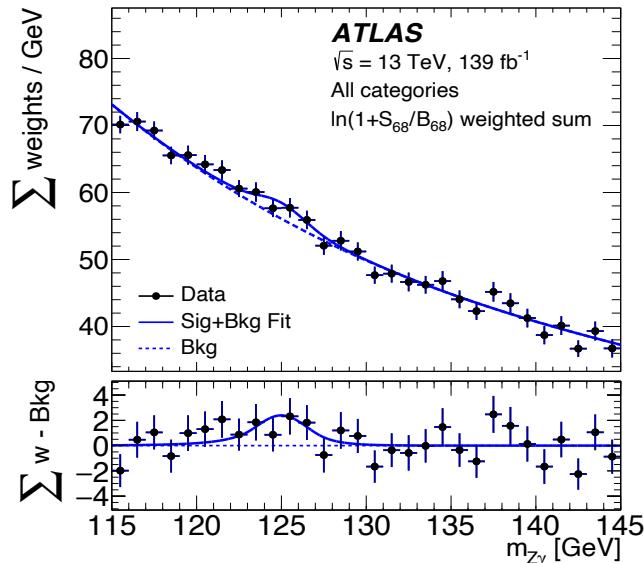


Phys. Rev. D 101 (2020) 012002

- VBF $H \rightarrow \gamma\gamma/WW/ZZ$ 综合信号敏感度超过 $6.5/5.3\sigma$ (观测/预期)
- 贡献 $H \rightarrow \gamma\gamma$ (主要灵敏度贡献)
- 高能所作出主导贡献

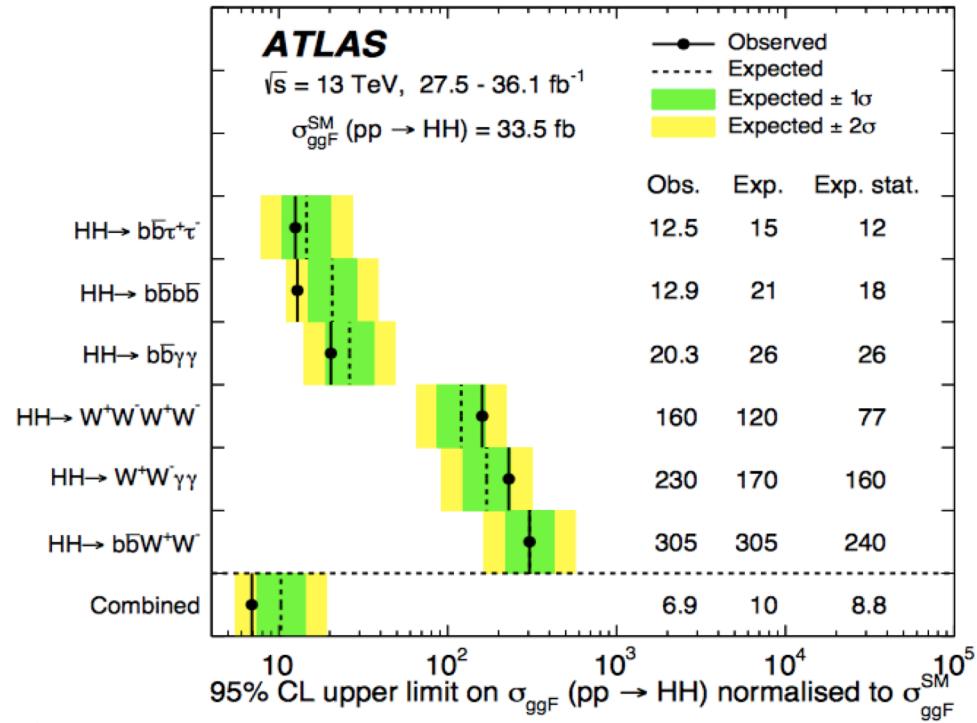
希格斯粒子到 $Z\gamma$ 和双Higgs

在 $Z\gamma$ 末态中寻找Higgs和新物理



PLB 809 (2020) 135754

- 基于Run2全部数据，给出了 $H \rightarrow Z\gamma$ 最严格的束缚： $\text{Obs}(\text{Exp}) < 3.6(2.6) \times \text{SM}$ @95%CL
- 完成Run2全部数据的整个分析，包括事例选择、优化、本底分析以及统计分析
- **高能所**作出主导贡献

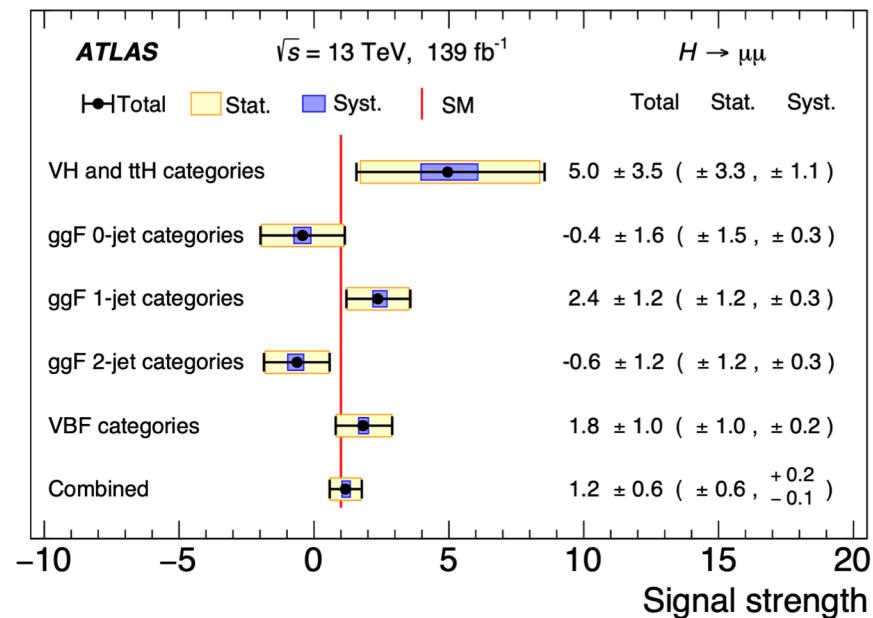
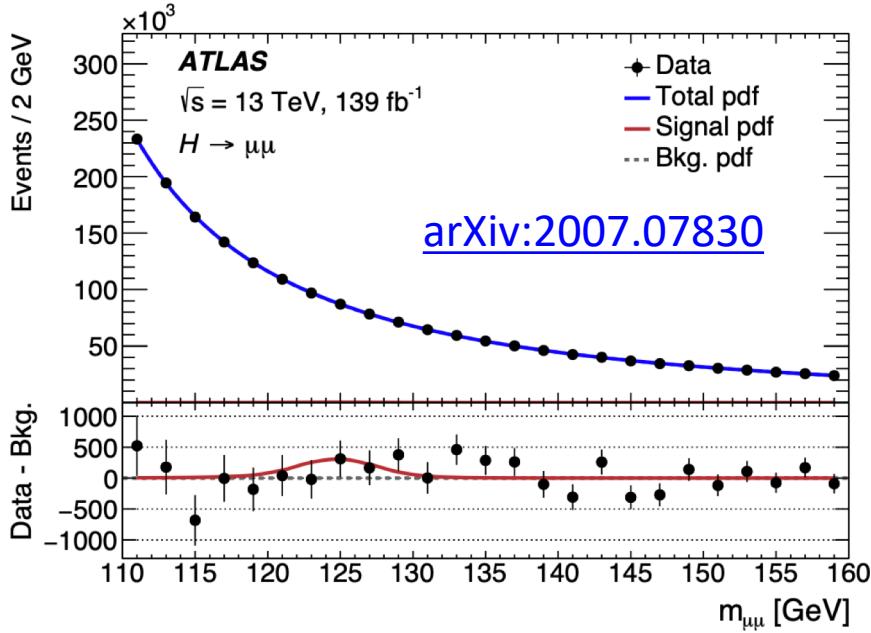


Phys. Lett. B 800 (2020) 135103

- 对di-Higgs研究的多个道的分析作出贡献，并参与其各个道的合并
- 目前 36.1 fb^{-1} 结果对di-Higgs排除的 $\sim 10 \text{ SM}$ di-Higgs理论预言
- **高能所、交大**作出主要贡献

希格斯粒子衰变到费米子末态

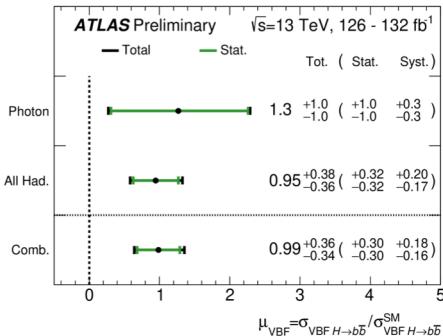
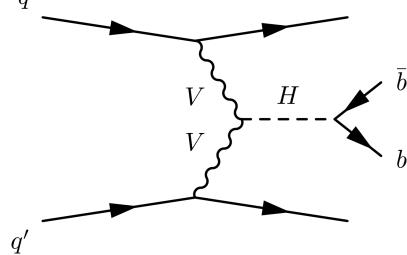
CERN在今年8月召开发布会宣布观测到 $H \rightarrow \mu\mu$ 的迹象



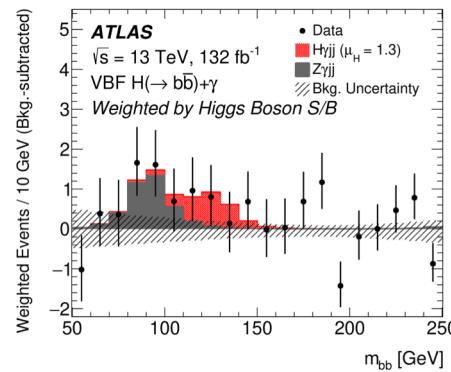
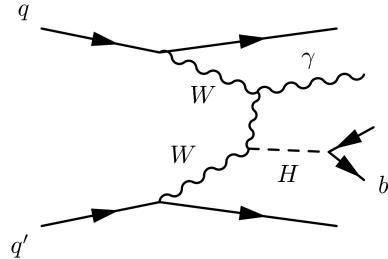
- $H \rightarrow \mu\mu$ 是研究第二代费米子汤川耦合最灵敏的衰变道
- 前期已经发表两篇会议文集: ATLAS-CONF-2018-026, ATLAS-CONF-2019-028
- ATLAS信号强度的测量值为 1.2 ± 0.6 , 信号显著性为 2.0σ (预期 1.7σ) ; CMS为 3.0σ (预期 2.5σ)
- 山大、科大作出主导贡献, 清华作出主要贡献

希格斯粒子衰变到费米子末态

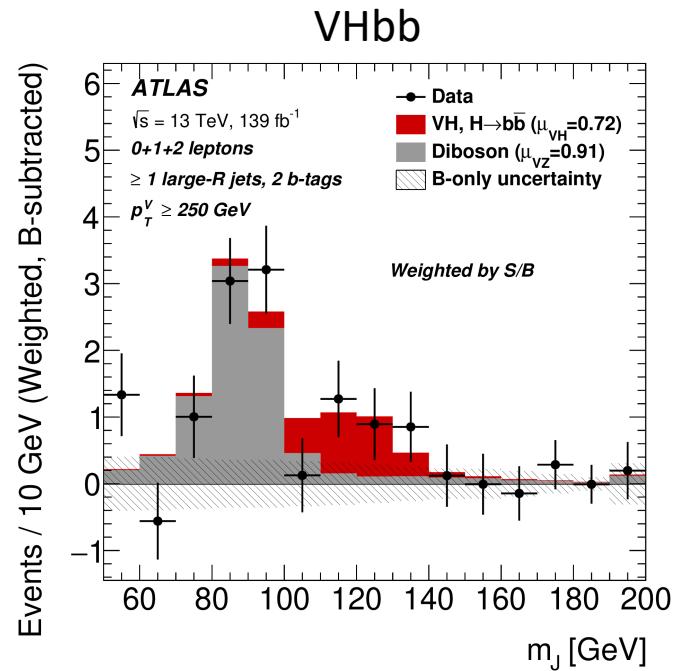
VBF H(\rightarrow bb)
CERN-EP-2020-195



VBF H(\rightarrow bb) + γ
arXiv:2010.13651



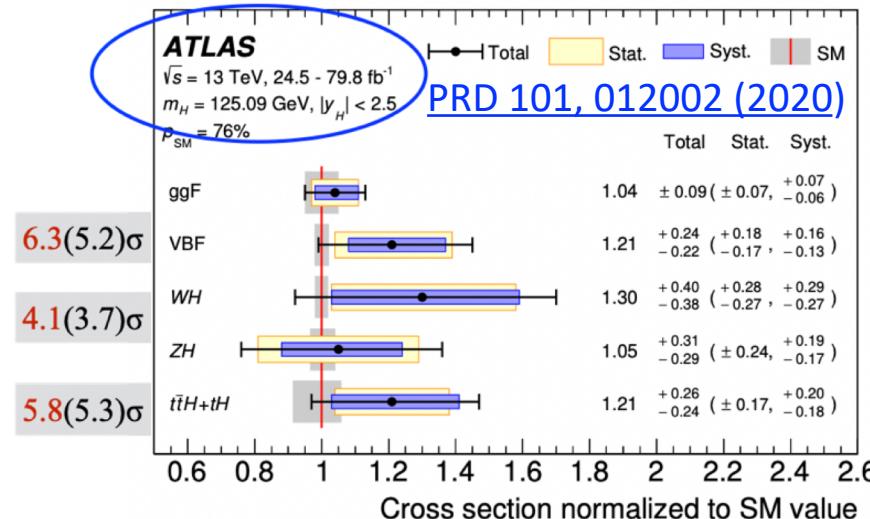
- 利用run2全部数据中，实验VBF H(\rightarrow bb)观测显著度为 3σ （预期值 3σ ）比上一轮分析的显著度提高 350%
- 提出原创性分析末态VBF H(\rightarrow bb) + γ
- 高能所作出主导贡献



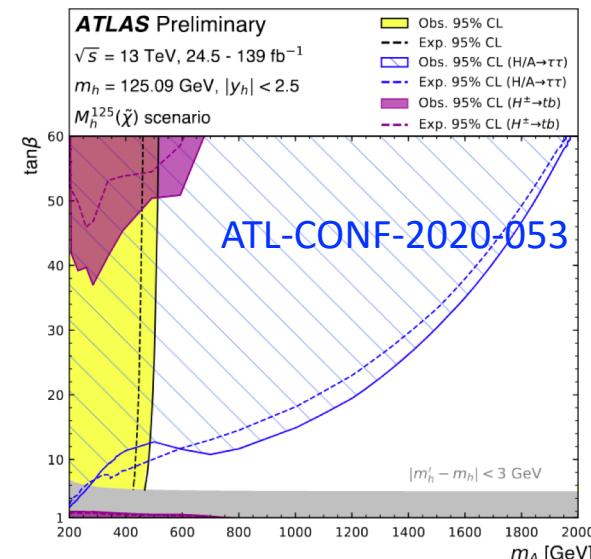
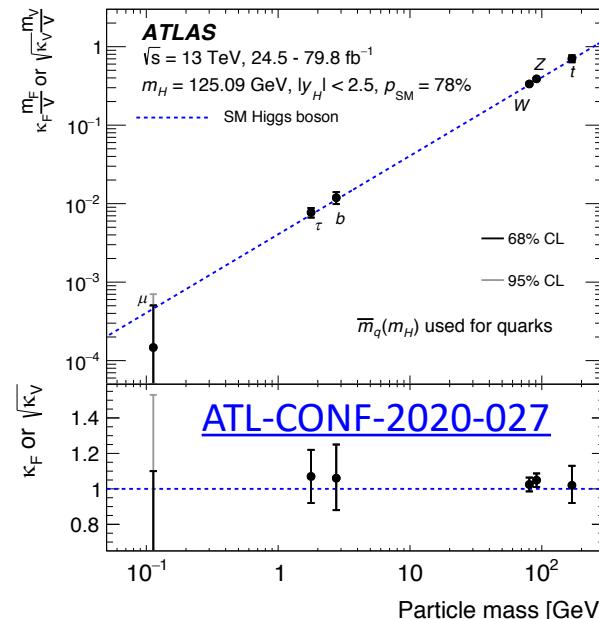
- Resolved channel:** 运用全部Run2数据测量VHbb过程微分截面。WH/ZH信号显著度分别为 $4.0\sigma/5.3\sigma$ 。
[arXiv: 2007.02873](https://arxiv.org/abs/2007.02873)
- Boosted channel:** ATLAS实验上首次在该分析道研究boosted信号，测得VHbb截面 $0.72+0.39(-0.36)$ ，信号 2.1σ 显著度。
[arXiv:2008.02508](https://arxiv.org/abs/2008.02508)
- 科大、山大、交大作出主要贡献

希格斯粒子联合测量

Analysis	Integrated luminosity (fb^{-1})
$H \rightarrow \gamma\gamma$ (including $t\bar{t}H, H \rightarrow \gamma\gamma$)	79.8
$H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell$ (including $t\bar{t}H, H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell$)	79.8
$H \rightarrow WW^* \rightarrow e\nu\mu\nu$	36.1
$H \rightarrow \tau\tau$	36.1
$VH, H \rightarrow b\bar{b}$	36.1
$H \rightarrow \mu\mu$	79.8
$t\bar{t}H, H \rightarrow b\bar{b}$ and $t\bar{t}H$ multilepton	36.1

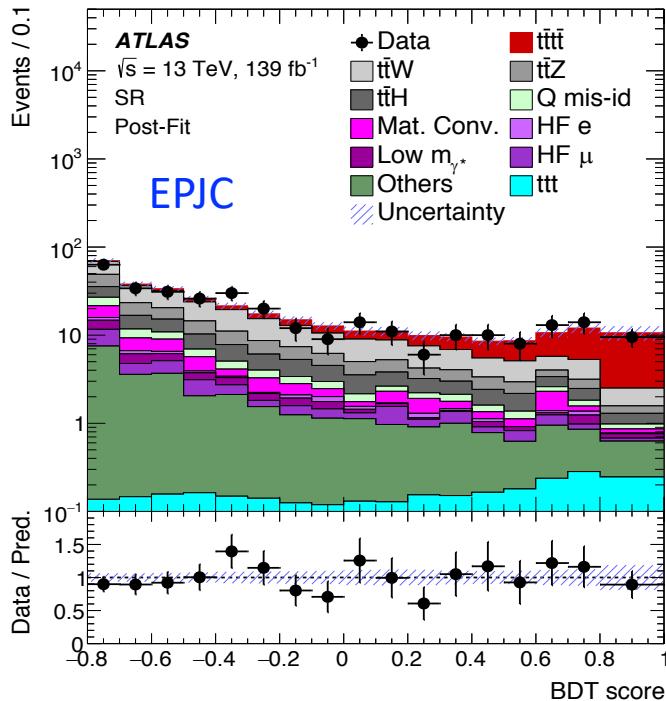


- 全局信号强度为 $\mu = 1.13 + 0.09 - 0.08$ (8%), 给出至今最精确的希格斯耦合联合测量
- $t\bar{t}H$ 产生模式 $> 5\sigma$, VBF $> 6\sigma$
- 对 κ , MSSM 等模型参数进行了更严格的限制
- 高能所作出主导贡献, 交大、南大作出主要贡献

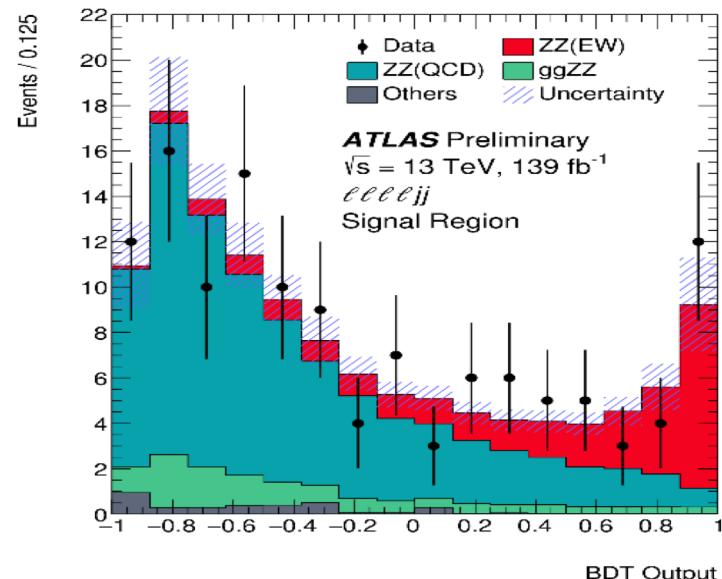


标准模型稀有过程的寻找

四顶夸克产生过程



矢量玻色子对ZZ散射

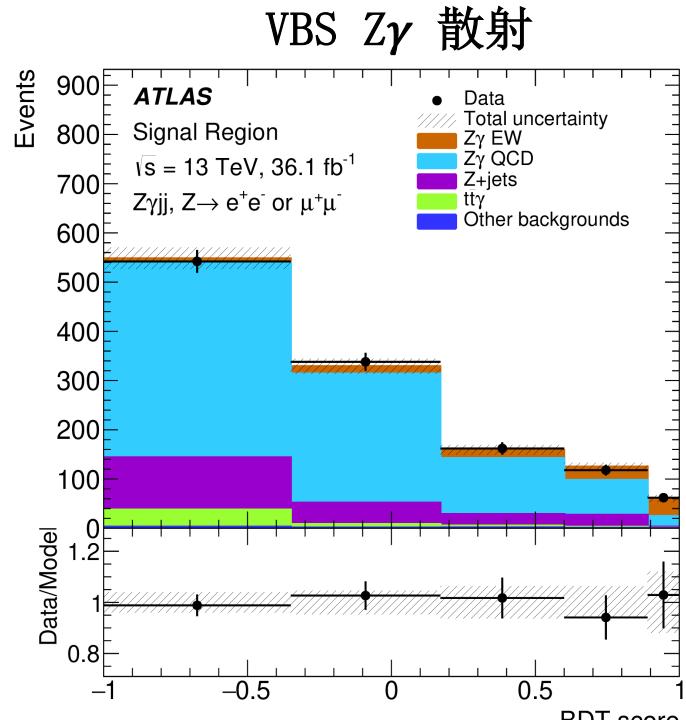


arXiv:2004.10612

- 首次发现四个顶夸克协同产生过程 (4.3σ)。利用 139 fb^{-1} 数据，测得四夸克过程截面为 $24+7(-6)\text{fb}$ ，与标准模型预言基本符合
- 交大作出主要贡献

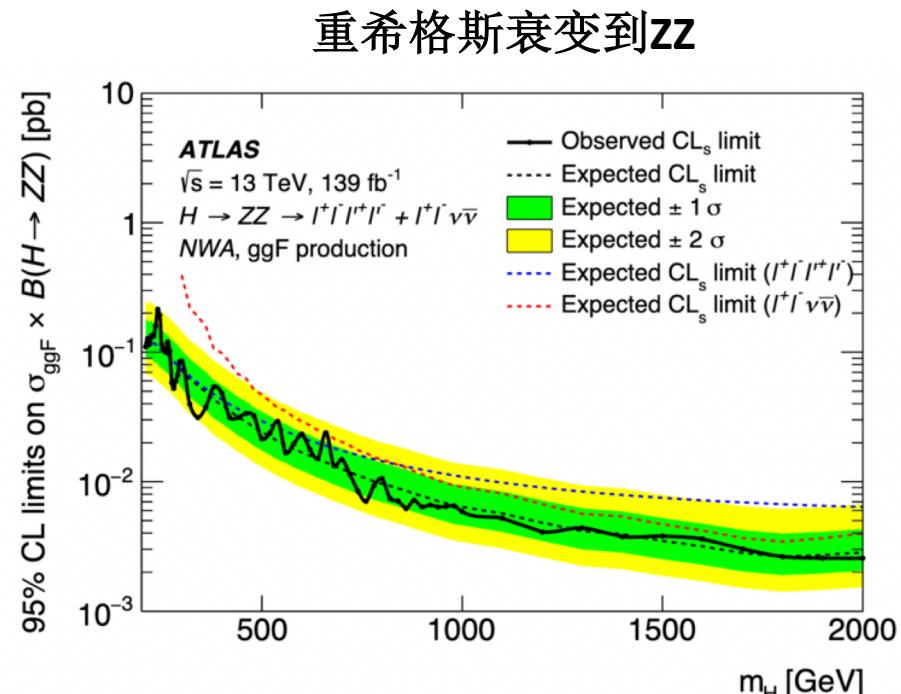
- 首次发现ZZ玻色子对散射过程 (5.5σ)，submitted to Nature Physics
- 科大作出主导贡献，交大作出主要贡献

标准模型稀有过程及新物理



Phys. Lett. B 803 (2020) 135341

- 通过 $e\bar{e}\gamma/\mu\mu\gamma/v\nu\gamma$ 末态测量VBS $Z\gamma$ 散射过程
- 获得VBS $Z\gamma$ 在ATLAS实验中的首次显著性测量 4.1σ (exp&obs)
- 将拓展到 $Z\nu\nu\gamma$ 衰变道
- 交大作出主要贡献

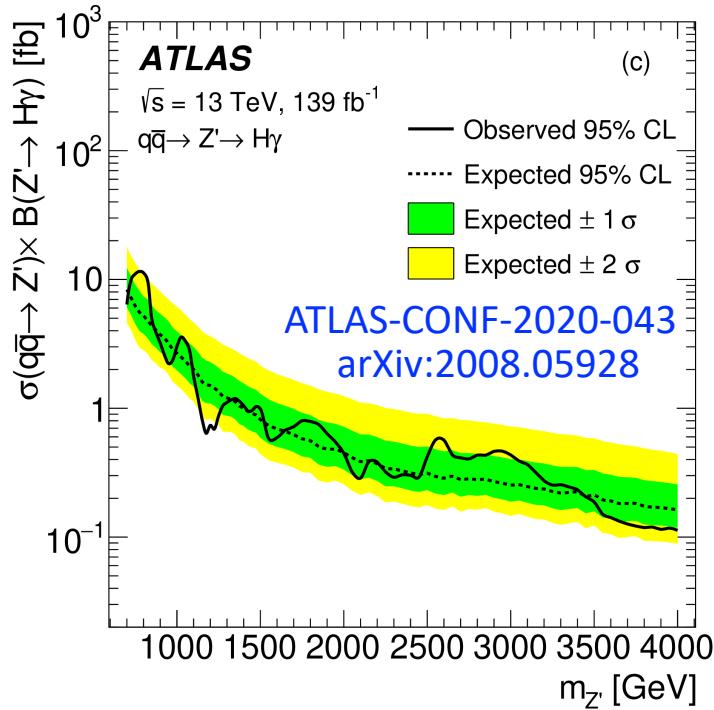


[arXiv:2009.14791](https://arxiv.org/abs/2009.14791)

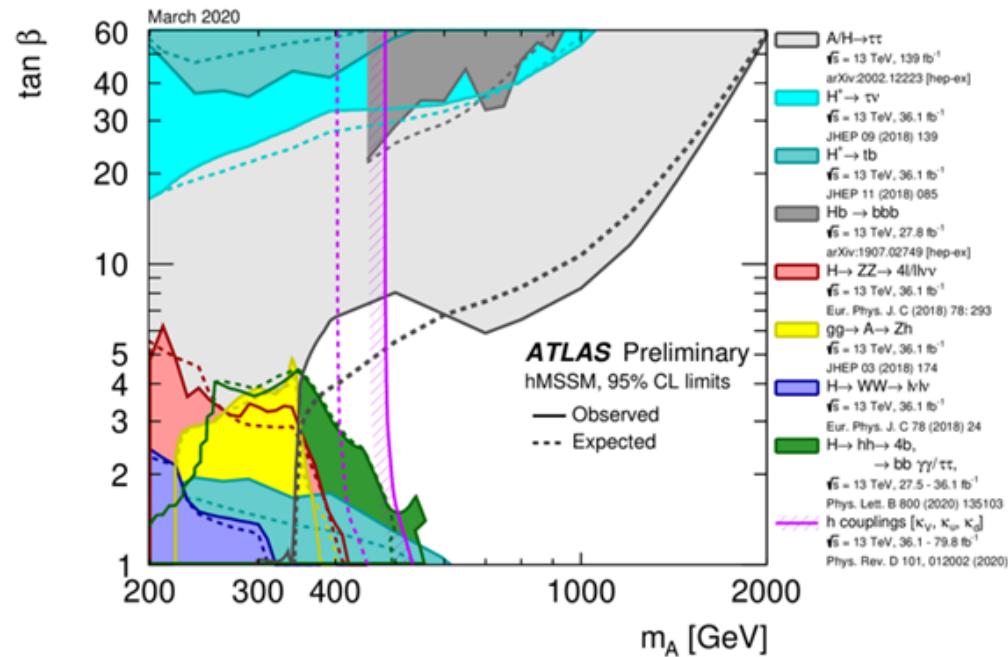
- 大质量希格斯粒子衰变到 ZZ 到4轻子，或2轻子+2中微子过程寻找
- 利用 139 fb^{-1} 数据，对spin-0和spin-2的共振峰给出截面上限
- 科大主导贡献，交大主要贡献

新物理(非SUSY)的寻找

$Z' \rightarrow H(b\bar{b}) + \gamma$



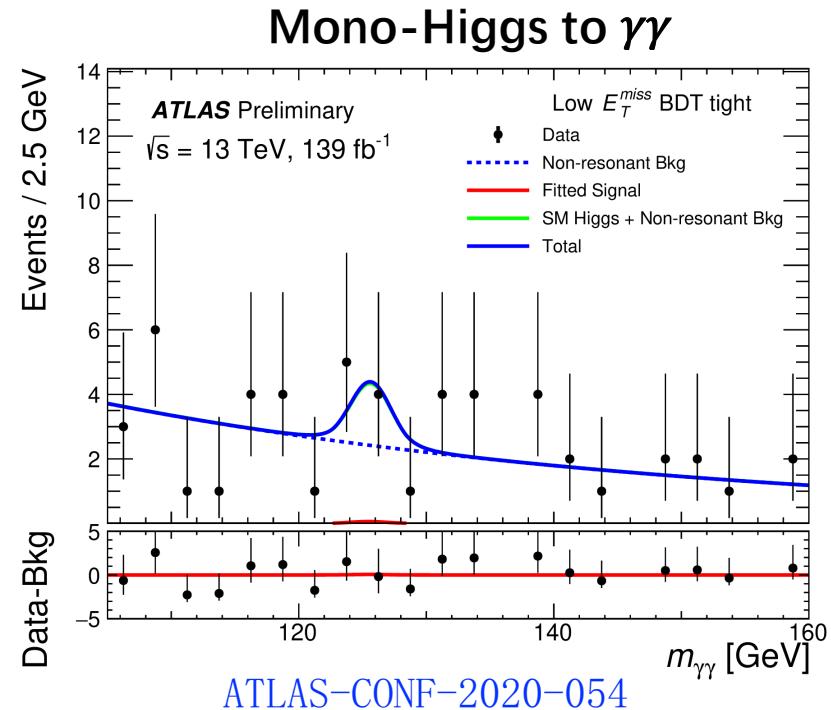
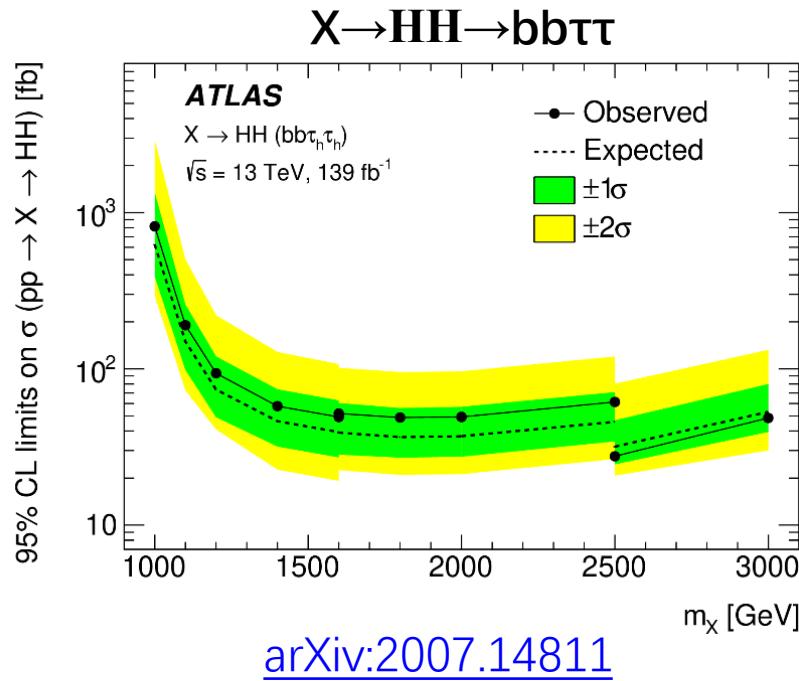
重希格斯衰变到 $\tau\tau$



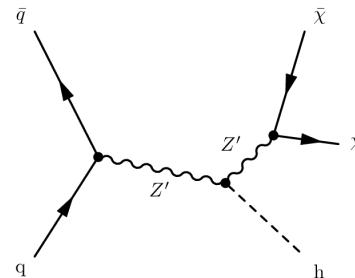
- 高能所成员开发先进算法提升 $H \rightarrow b\bar{b}$ 在高能区探测效率
- 利用 139 fb^{-1} 分析数据对自旋为1的共振态在 $[0.7, 4] \text{ TeV}$ 质量范围内给出截面限制(95% C. L.)： $[11.6, 0.11] \text{ fb}$
- 高能所、交大作出主导贡献

- 寻找了超出标准模型高质量希格斯粒子衰变到 $\tau\tau$ 的信号，在MSSM参数空间给出了更严格的限制
- 南大作出主导贡献

新物理(非SUSY)的寻找



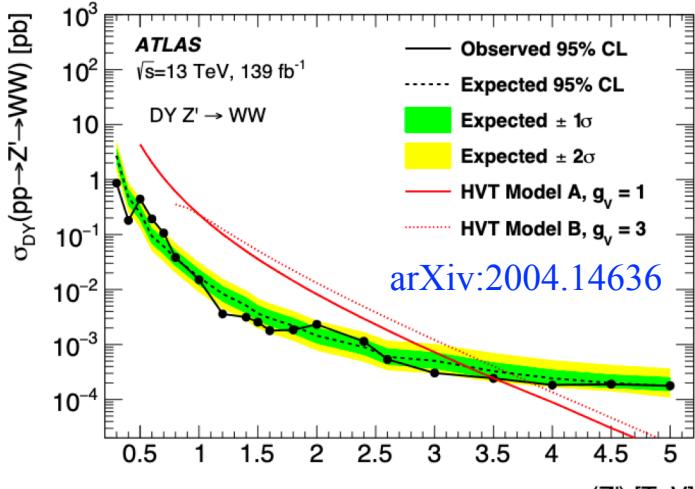
- 首次使用boosted di- τ 重建和鉴别技术，在 $b\bar{b}\tau\bar{\tau}$ 末态寻找超出标准模型的新共振态粒子衰变到一对希格斯粒子的过程
- 南大作出主导贡献



- 利用Mono-Higgs to $\gamma\gamma$ 寻找DM
- 南大、高能所作出主导贡献

新物理(非SUSY)的寻找

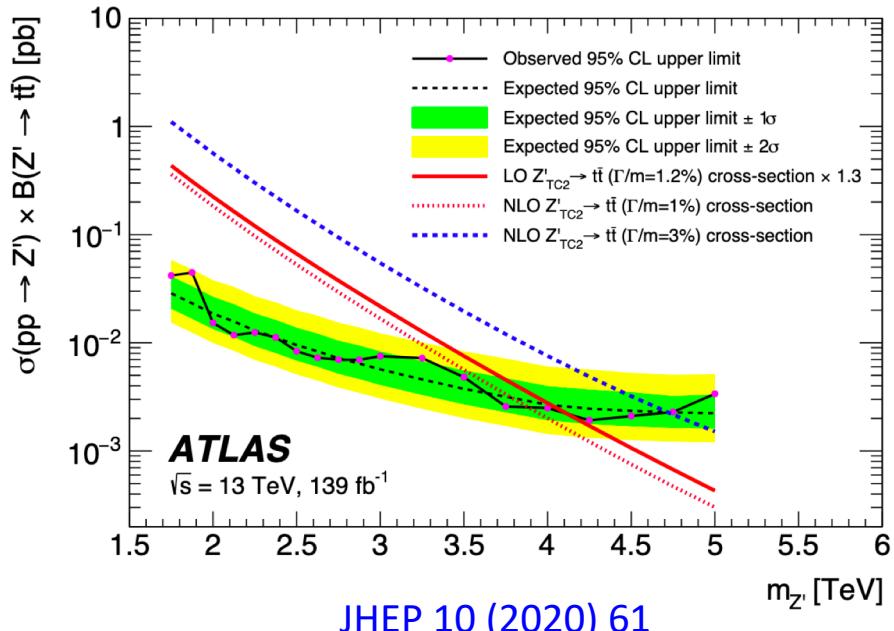
$X \rightarrow VV \rightarrow \text{lep+had}$



95% CL lower limits on mass

Production process	RS radion	HVT		RS graviton
		W'	Z'	
ggF/DY	3.2 (2.9)	Model A 3.9 (3.8)	3.5 (3.4)	2.0 (2.2)
VBF	-	Model C - -	- -	0.76 (0.77)

$Z \rightarrow t\bar{t} \rightarrow \text{boosted jets}$

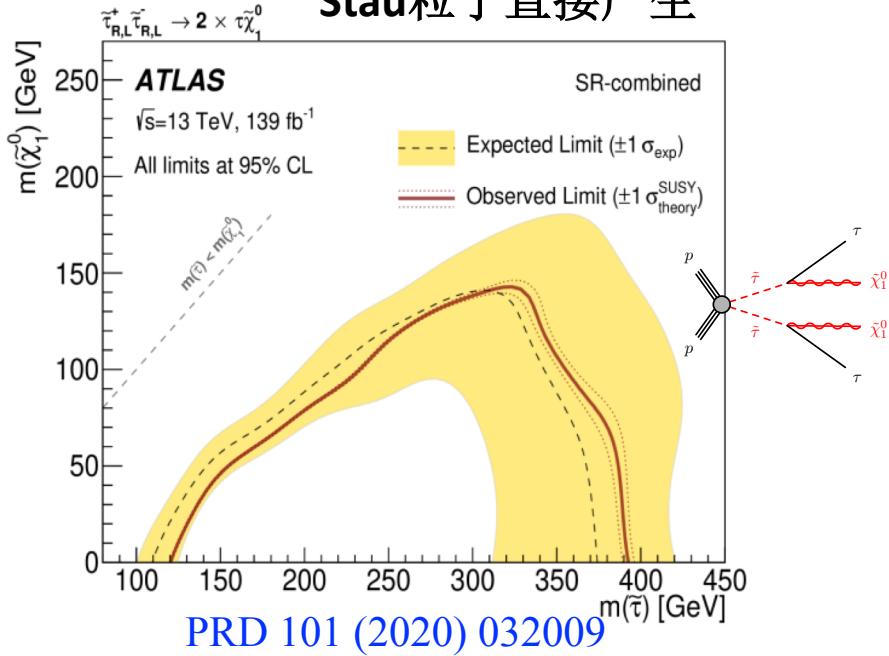


- 利用Run-2数据，寻找了 $X \rightarrow VV \rightarrow \text{lep+had}$ 末态衰变信号，给出了模型无关及相关的限制
- 山大作出主导贡献

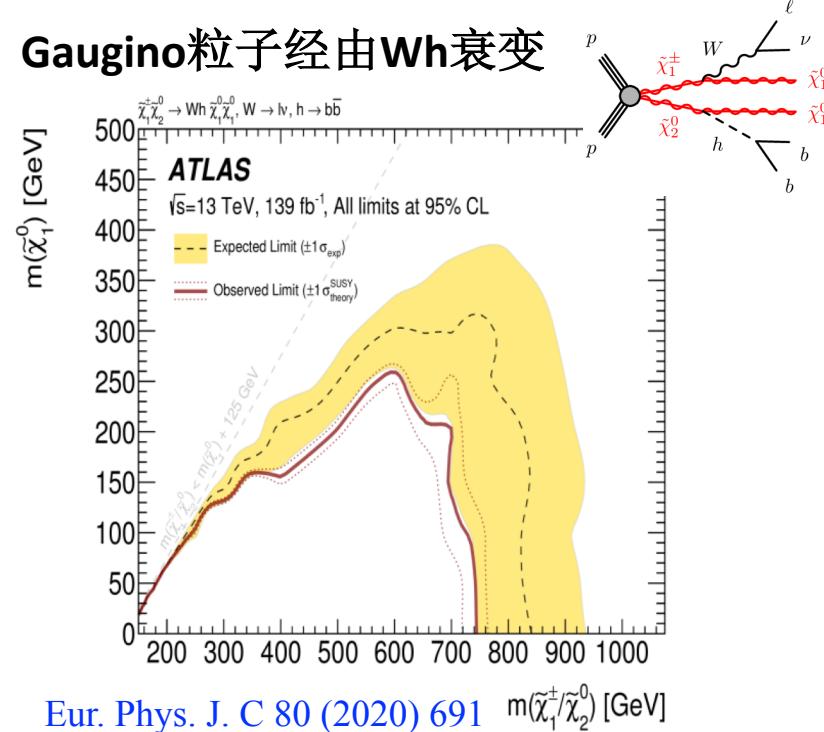
- 利用Run-2数据，寻找了 boosted $t\bar{t}$ 共振态信号，使用 DNN top tagger 和 track jet b-tagger 提高鉴别力 65%
- 清华、南大作出主要贡献

SUSY的寻找

Stau粒子直接产生



Gaugino粒子经由Wh衰变

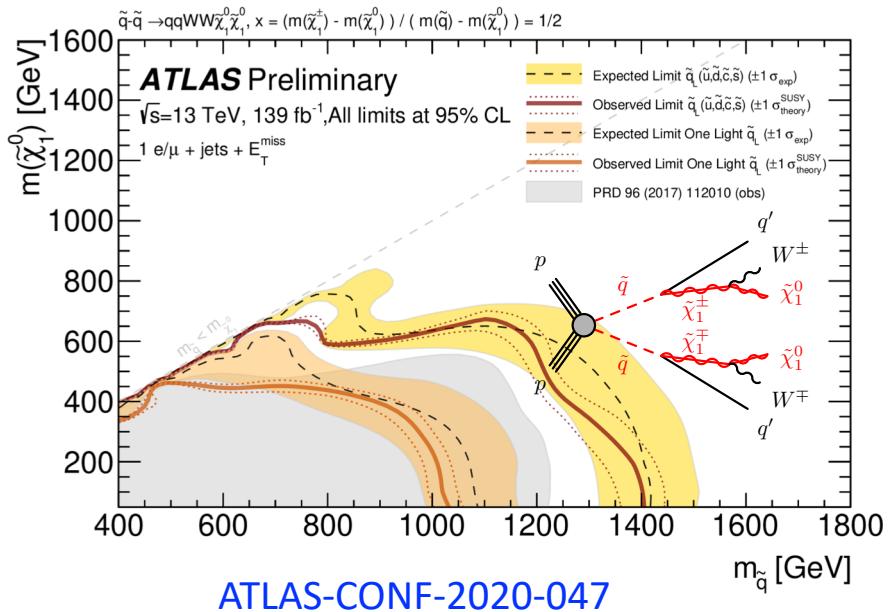


- Stau coannihilation模型给出的暗物质残遗密度与宇宙观测值一致，是SUSY研究重点
- 高能所首次在ATLAS提出这个搜索道，研究结果被ATLAS物理简报报道
- 高能所、南大作出主导贡献

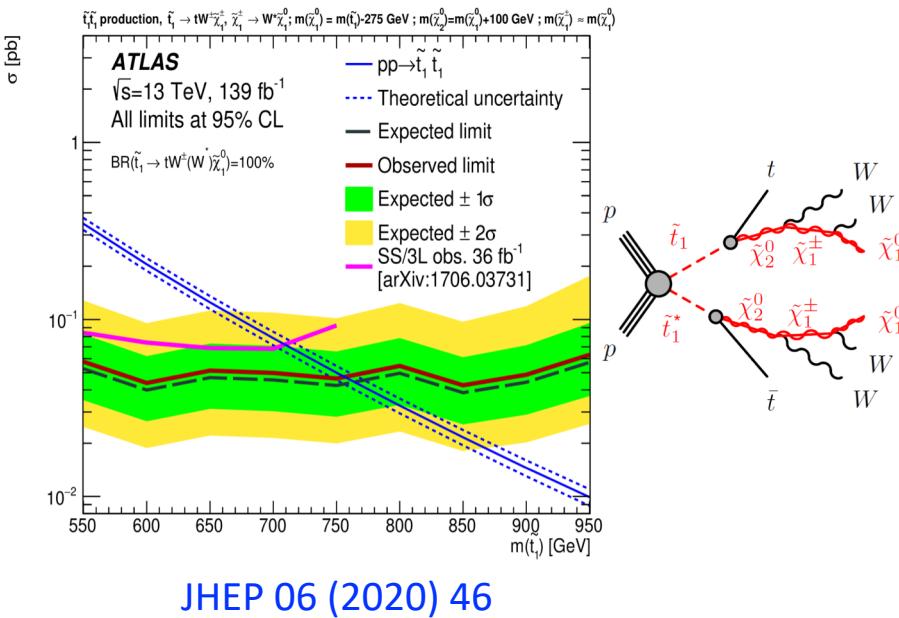
- 末态含一轻子可有效压低QCD本底，而且H→bb的分支比较大，信号灵敏度较高
- 95%置信度下740GeV以下的 chargino 粒子基本被排除
- 高能所作出主导贡献

SUSY的寻找

单轻子末态SUSY寻找



同号两轻子末态SUSY寻找

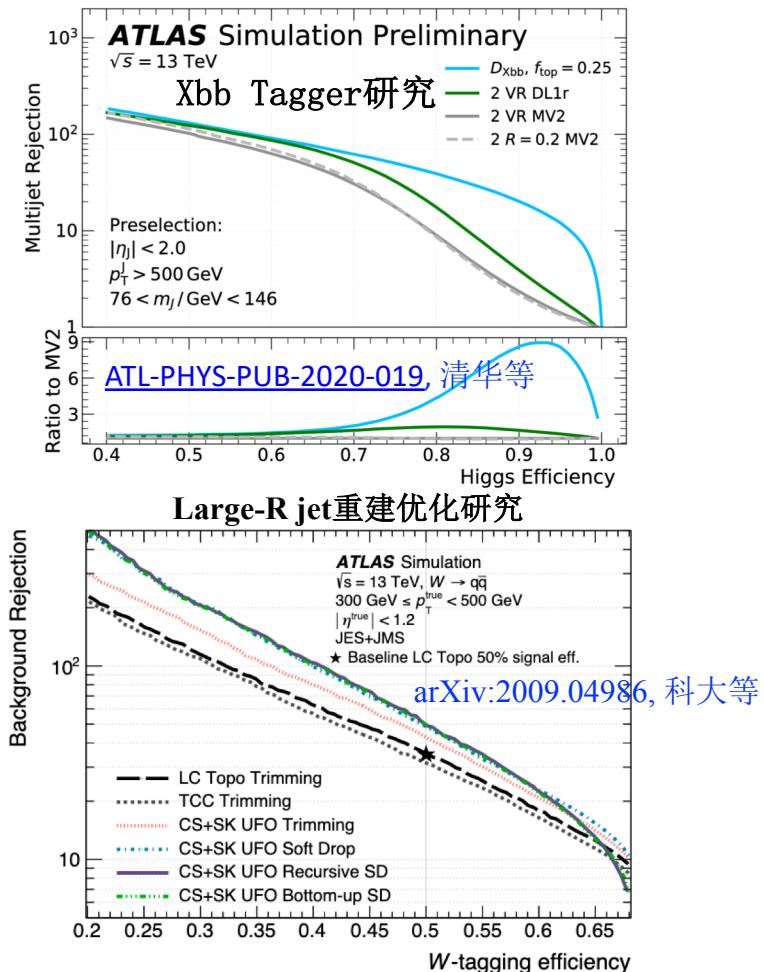
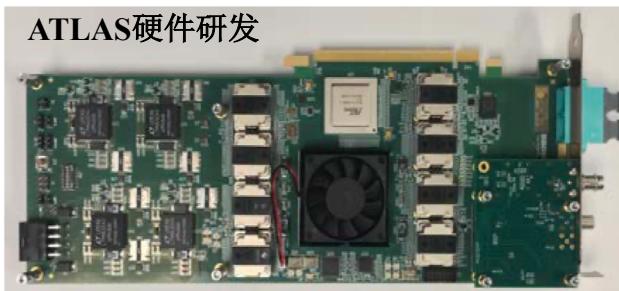
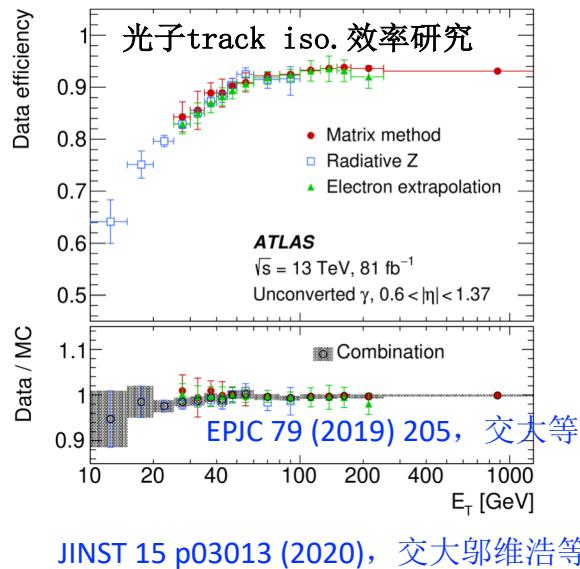


- 单轻子末态寻找gluino和squark粒子
- 过程产生截面较大，是SUSY寻找的传统黄金道
- 95%置信度下 2.2 (1.4) TeV以下的 gluino (squark) 粒子基本被排除
- 高能所作出主导贡献

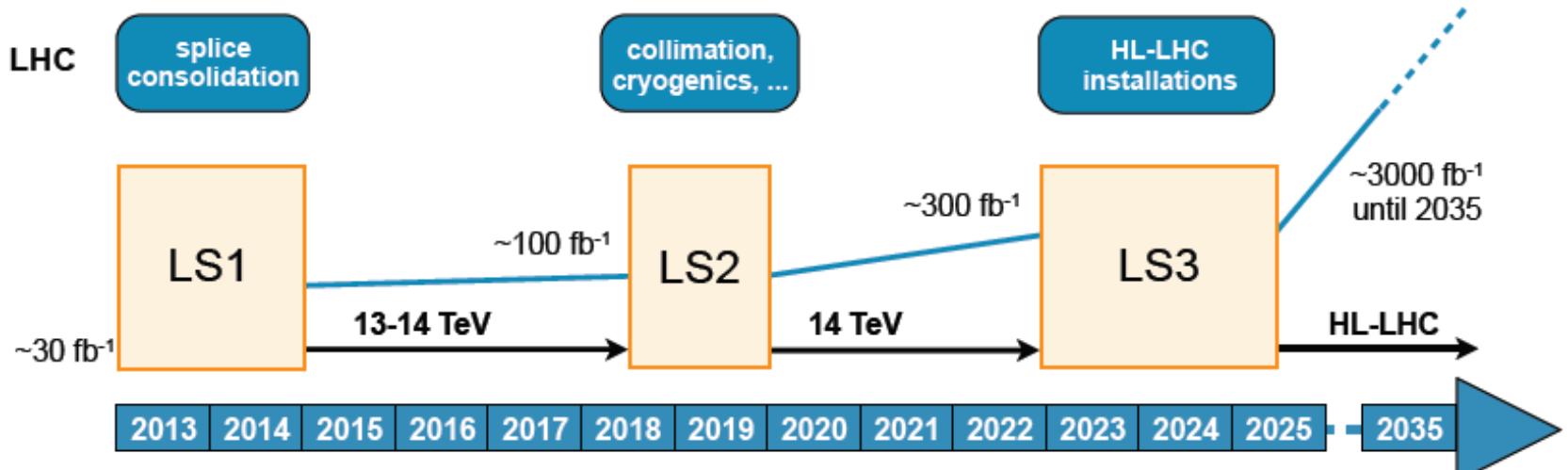
- 通过SS/3L末态寻找gluino和squark粒子，要求两个轻子同号，本底很小
- 给出了95%置信度下 gluino, stop, sbottom粒子的排除限
- 高能所作出主导贡献

探测器研发与Performance

- 探测器各部分的刻度、甄别等performance的工作对于物理分析的展开起到非常大的重要的作用
- ATLAS中国组各单位都通过探测器Performance、硬件研发和升级等对ATLAS的发展作出特别的贡献



LHC升级计划



ATLAS Phase-0

New inner pixel layer
Detector consolidation
2015: FTK deployment

ATLAS Phase-1

Improve L1 Trigger, NSW
and LAr electronics to
cope with higher rates

ATLAS Phase-2

Prepare for 140-200 pile-up events
Replace Inner Tracker
New L0/L1 trigger scheme
Upgrade muon/calorimeter
electronics
Upgrade of DAQ detector readout

NSW: 科大/山大

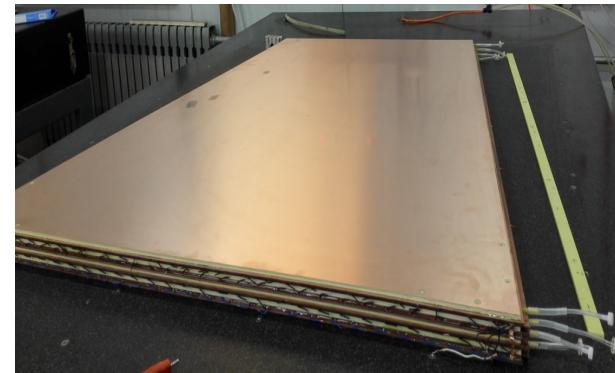
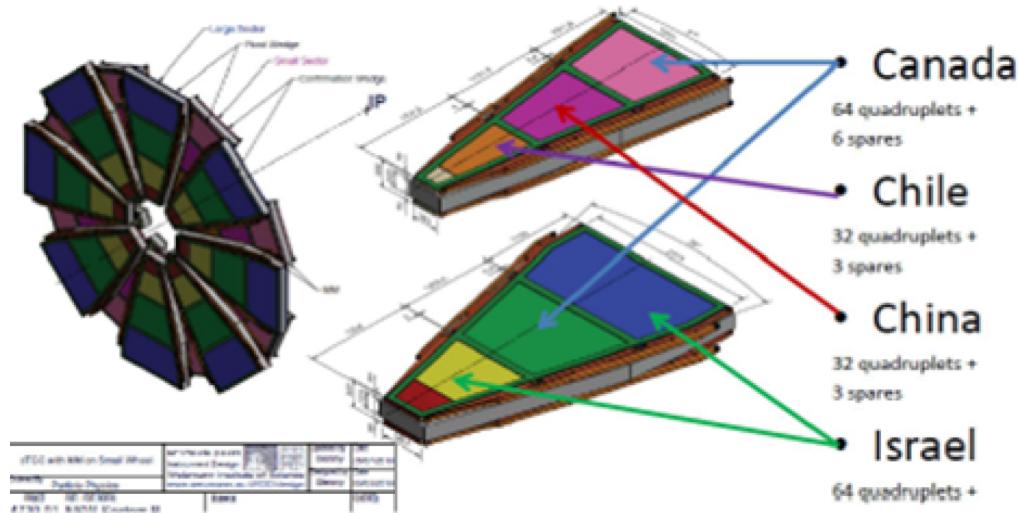
ITK: 高能所/清华
RPC: 科大/山大/交大
HGTD: 6家单位

中国组NSW项目

科大/山大

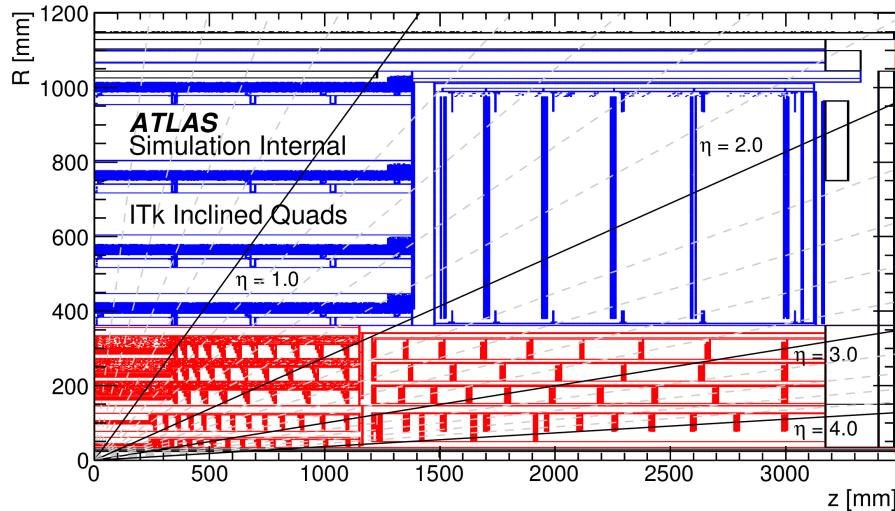
- 山大完成全部160 sTGC chambers生产
 - 科大承担生产1840 Front-end readout (FEB) boards

New small wheel (small-TGC + MicroMegas)



Phase-2 硅径迹探测器升级

高能所/清华



ATLAS将建造全硅径迹探测器
(ITk) :



Assembled modules

- 协议生产1000个硅微条探测器模块，占桶部硅微条模块的大约10%
(美国 50% + 英国 40%)
 - 进口问题(抗辐照ASIC芯片) 已完全解决
 - 项目进展顺利：组装了LS/SS模块 (完成了原型项目)；年末 site qualification 完成之后，即将进入 (pre-) production 阶段
- 任务拓展： **module loading** (at RAL); Strip barrel **system integration, installation and commissioning** (at CERN)

Phase II RPC升级

科大/山大/交大

中国组承担ATLAS缪子探测器RPC升级课题：负责RPC Phase-2中50%前放板以及50% singlet chamber制作和测试

- 科大孙勇杰担任Level-3协调人，负责读出板的设计和生产
- 提议蜂窝结构读出板，和用单面双端读出代替双面单端读出

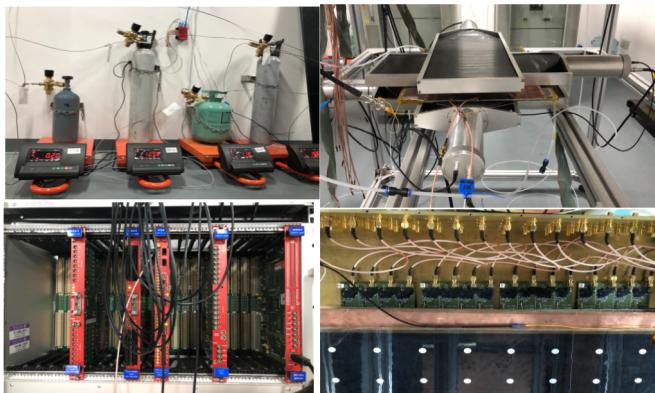


图1 配气、触发、测试、读出系统

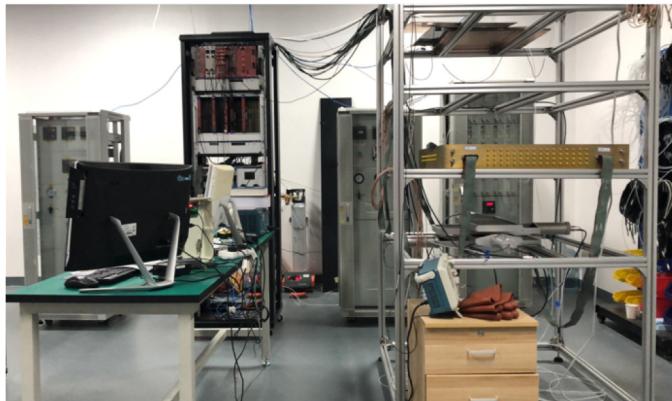
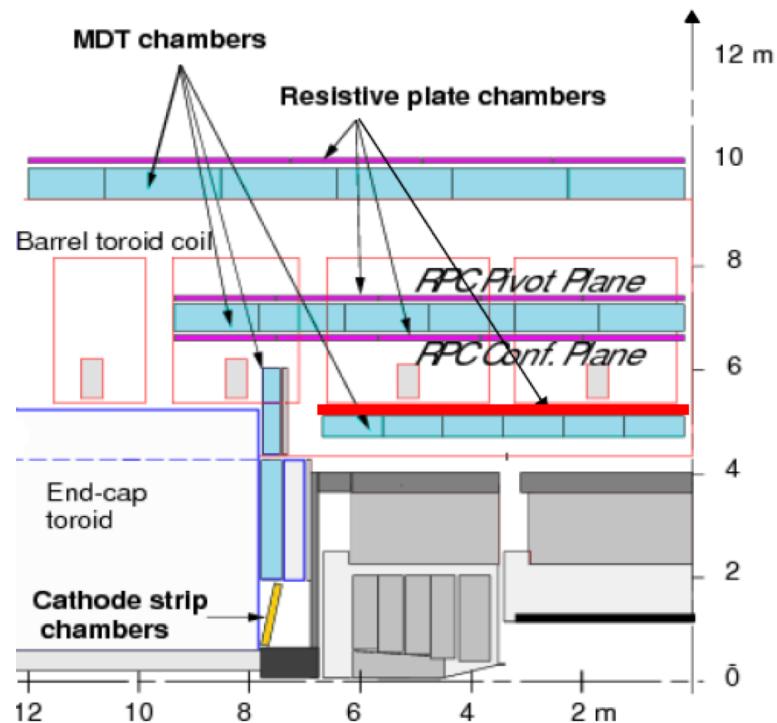


图2 RPC探测器测试平台

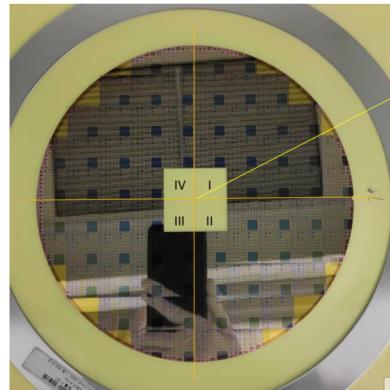


Adding Inner layer to RPC barrel to improve resolution / trigger selectivity

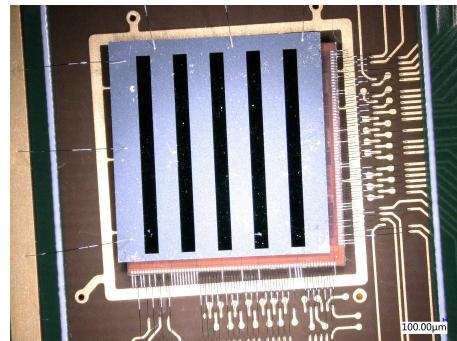
HGTD探测器被CERN批准立项，高能所在HGTD项目主导作用：

- Joao costa担任HGTD项目副经理
- 梁志均任探测器模块组Level12协调人，研制出首批探测器模块
- Juan An担任数据获取组协调人，张杰任外围电路组协调人
- 高能所与北师大研发超快硅传感器，抗辐照性能取得进展
 - $2.5 \times 10^{15} N_{eq}/cm^2$ 超高中子辐照后，对时间分辨仍可达30皮秒
- 高能所与微电子研发超快硅传感器流片成功（高能所设计）
- 高能所与南京大学合作研制首批探测器模块emulator

高能所设计传感器



探测器模块研制

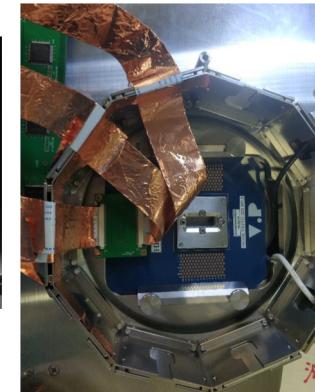
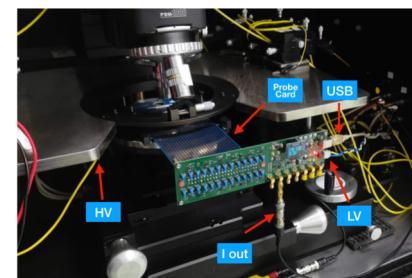
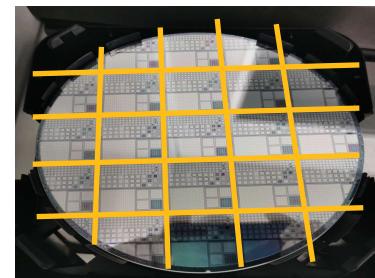
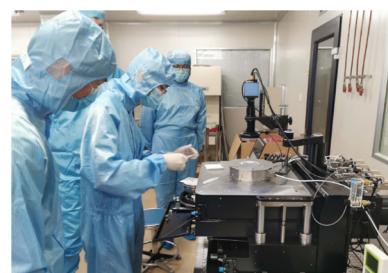


探测器模块
Emulator
高能所/南大



科大亮点工作：

- 吴雨生担任HGTD simulation/performance/physics coordinator (2019.3-2021.2)
- LGAD探测器在IME制作完成，时间分辨率和HPK相当
- 建立了探针台电学测试平台、放射源性能测试平台
- 开展大面积探测器阵列性能研究，探讨阵列中少数坏通道对运行和整体探测性能的影响



中国组在ATLAS合作组职务

- 执行委员会委员: 金山 (南大 2016-2017)
- ATLAS合作组委员会顾问组成员:
 - 金山 (南大 2010-2011)
 - 赵政国 (科大 2012-2013)
 - 庄胥爱 (高能所 2016-2017)
 - 杨海军 (交大 2018-2019)
 - 黄燕萍 (高能所 2020-2021)
- ITK Steering Committee: 娄辛丑 (高能所 2016-至今)
- Pixel Steering Committee: Juan Antonio Garcia (高能所)
- HGTD Steering Committee: Joao Guimaraes da Costa and, 梁志均, Juan Antonio Garcia, 张杰 (高能所)
- HGTD Risk and Resources Manager: Joao Guimaraes da Costa (高能所)
- HGTD 探测器项目副经理: Joao Guimaraes da Costa (高能所, 2020-至今)
- Muon IB Chair: Antonio Baroncelli (科大 2017-2019)
- Resource Manager of the Phase-2 Muon Upgrade: Antonio Baroncelli (科大 2019至今)
- Speakers Committee 顾问组: 陈新 (清华 2017-2018)
- Speakers Committee: 吴雨生 (科大 2018-2021)
- Early Career Scientist Board member: Dimitrii Krasnopevtsev (科大, 2019-2021)

中国组在ATLAS合作组内职务

近两年统计

物理组和基础软件组：

- Nishu Nishu (交大) : PMG jet&photon subgroup convener (2019.04-2021.04)
- 徐达 (高能所) : SUSY EW Group Convener (2019-2020)
- 李数 (李所/交大) : LHC(ATLAS+CMS+LHCb) EW multi-boson group convener (2018至今)
- Antonio De Maria (南大) : Co-coordinator of "ATLAS Fake Tau Task Force" (2018-2019), Tau Trigger Convener (2020-)
- Claudia Bertella (高能所) : HWW Group Convener (2018 - 2019)
- Javier Llorente Merino (高能所) : photon+jet Group Convener (2018 - 2019)
- 李数 (李所/交大) : ATLAS MC generator development and tuning group convener(2018.4-2019.9)
- 吴雨生 (科大) : Convener of Subgroup Quarkonia production and b Xsection measurements (2017-2019), Speakers committee (deputy) chair (2020-2021), HGTD simulation/performance/physics convener (2020-)
- 张雷 (南大) : LHC Higgs Cross Section bbH/bH Group convener (2017-2020), BSM Higgs convener (2020-)
- 李数 (李所/交大) : ATLAS SM Electroweak group convener, 2017.04~2018.03
- 黄燕萍 (高能所) : Photon ID group convener (2016-2018), Egamma Calibration Group Convener (2019-)
- Mohamad Kassem Ayoub (高能所) : ATLAS Fake Tau group convener (2020-)

探测器运行组：

- 孙勇杰(科大) : RPC Level-3 coordinator (2019-)
- Joao Barreiro Guimaraes Da Costa (高能所) : HGTD 项目资源管理与风险管理召集人 (2019-)
- JuanAn Pascual (高能所) : HGTD项目触发与数据获取组召集人 (2019-)
- JuanAn Pascual (高能所) : Pixel Run Coordinator (2018/4-2018/9)
- 梁志均 (高能所) : HGTD项目探测器模块Level-2组召集人 (2020-)
- 张杰 (高能所) : HGTD项目外围电路Level-3协调人 (2020-)

总结与展望

- 过去一年ATLAS中国组在Higgs性质研究、新物理寻找及标准模型检验等多个热点分析成果中做出了主导或主要贡献，并在其中10几个分析中发挥了主导作用（担任分析负责人，文章编辑等）
- 过去一年共发表期刊文章20多篇，会议文章30多篇，代表ATLAS合作组国际会议报告近30个
- 在硬件方面，同时开展了多个升级项目：NSW、ITK、RPC、HGTD，并进展顺利。发表硬件期刊文章7篇

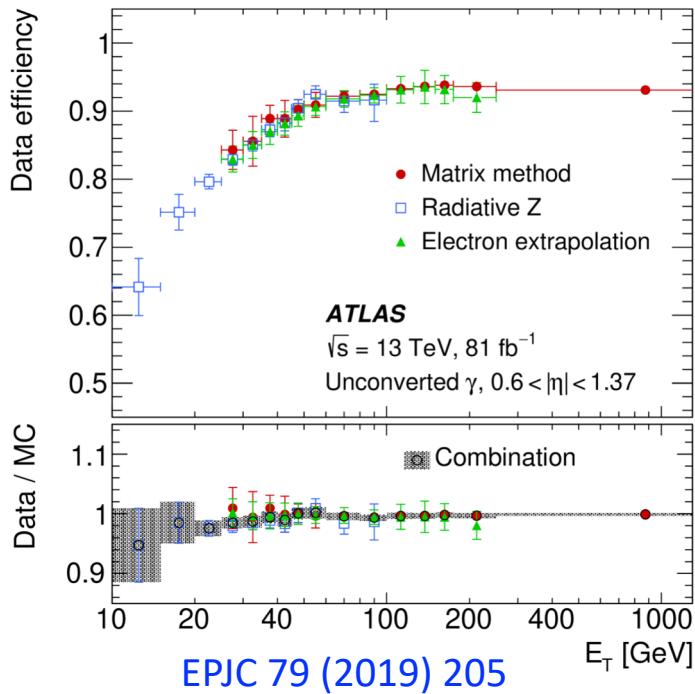
将在物理分析、硬件升级、和探测器运行等方面进一步提高中国组在ATLAS合作组的贡献，期待继续得到基金委、科技部和中科院以及全国同行的大力支持！

谢谢大家！

Thanks!

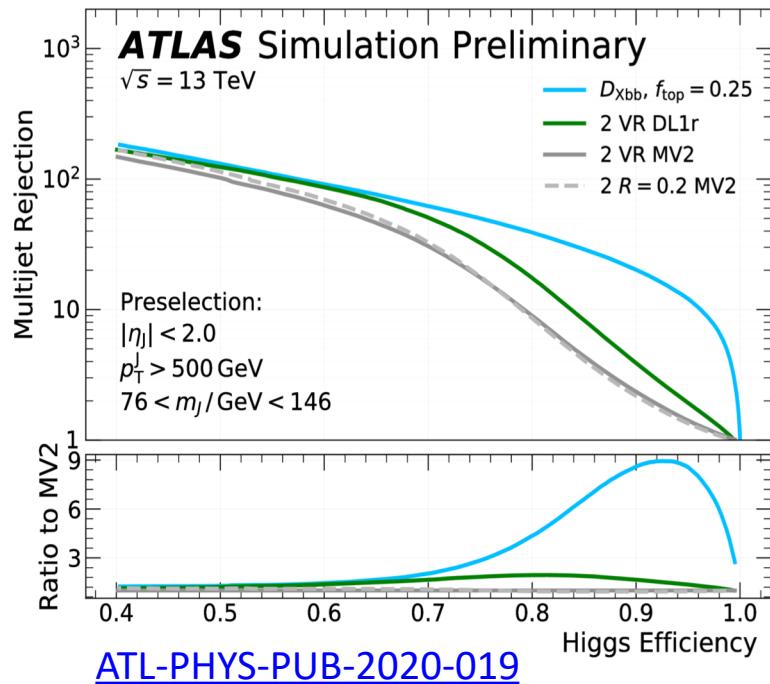
Performance

光子track iso. 效率研究



- 数据质量检查、深入研究pileup对光子鉴别效率和能量重建的影响
- 交大作出主要贡献

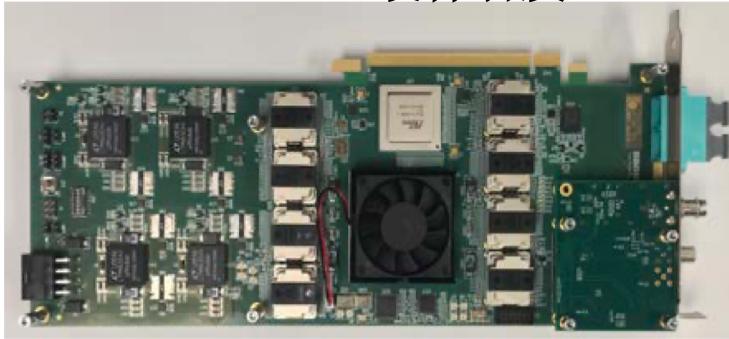
Xbb Tagger研究



- 首个mass de-correlated Tagger, 标定Boosted $X \rightarrow bb$ ($D_{X_{bb}}$)
- 正式成为ATLAS Flavor Tagging Group的recommendation
- 清华作出主导贡献

探测器研发与Performance

ATLAS硬件研发



(b) FELIX hardware for ATLAS Phase I Upgrade

JINST 15 p03013 (2020)

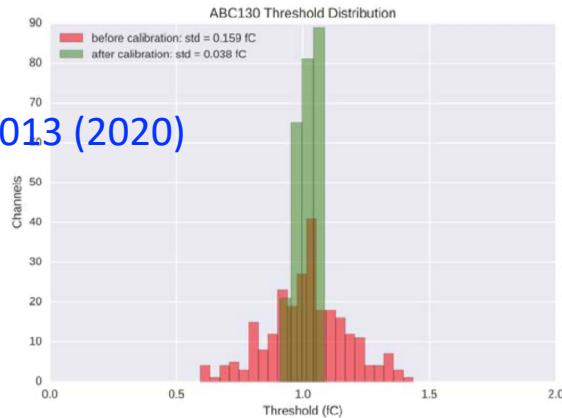
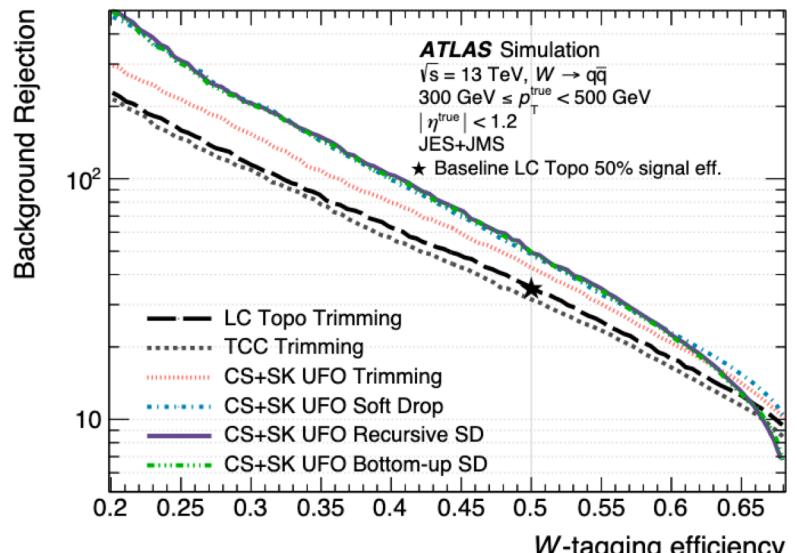


Figure 9. Threshold Distribution before and after calibration.

- Development of a FELIX based readout system for ITk strip hybrid module demonstrator for ATLAS Phase-II upgrade
- 交大邬维浩是文章第一作者

Large-R jet重建优化研究



arXiv:2009.04986

- 具有子结构(substructure)的boosted large-R jet对许多heavy resonance search来说非常重要
- 大动量W jet和top jet的标定效率、本底抑制是研究的重点
- 交大作出主要贡献