

开题报告

Shuiting Xin

目录

- 选题的背景及意义
- 国内外本学科领域的发展现状与趋势
- 课题的主要研究内容、预期目标
- 拟采用的研究方法、技术路线、实验方案及其可行性分析
- 实验方案及可行性
- 已有研究基础与所需的研究条件
- 参考文献

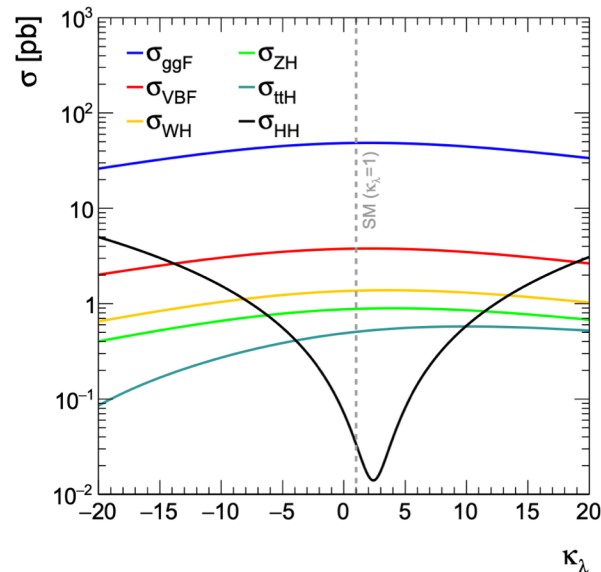
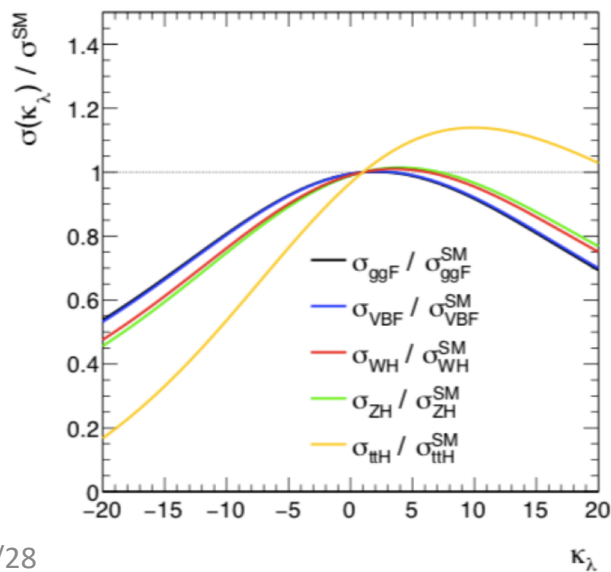
选题的背景及意义

- 希格斯粒子对寻找

$$\mathcal{L} = -\frac{1}{2}m_h^2 h^2 - \underbrace{\lambda_3}_{\text{To explore}} \frac{m_h^2}{2v} h^3 - \lambda_4 \frac{m_h^2}{8v^2} h^4$$

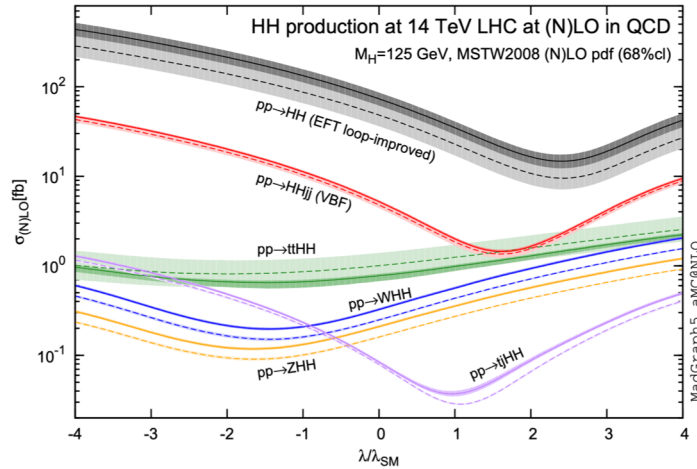
Done
To explore
Too early

- 标准模型预言了在自发对称性破缺后的希格斯势
- 与希格斯自耦合参数 λ_3 相关：仍是未知，并能影响单希格斯的衰变率

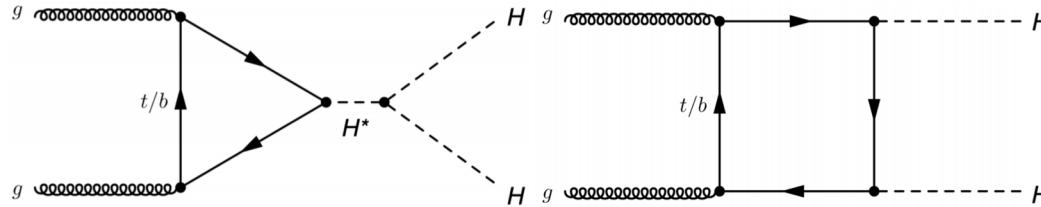


选题的背景及意义

- 标准模型预言的主要产生模式：胶子融合



- 领头阶费曼图：三角图：提供了直接探测 λ_3 的可能；箱图：非共振

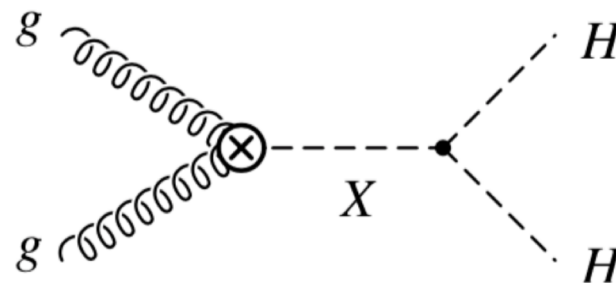


$$\sigma_{\text{ggF}}(pp \rightarrow HH) \propto \int \kappa_t^4 \left[|\mathcal{A}_1|^2 + 2 \left(\frac{\kappa_\lambda}{\kappa_t} \right) \Re(\mathcal{A}_1^* \mathcal{A}_2) + \left(\frac{\kappa_\lambda}{\kappa_t} \right)^2 |\mathcal{A}_2|^2 \right]$$

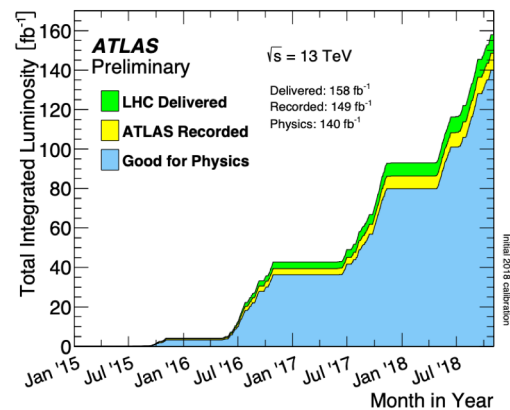
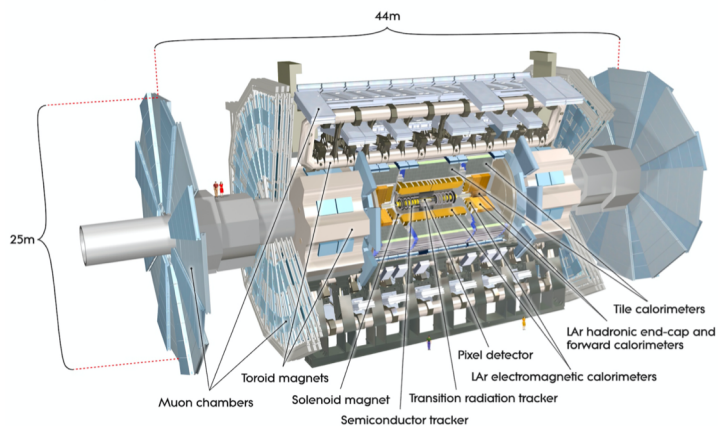
- $\frac{\kappa_\lambda}{\kappa_t}$ ：决定了运动学分布， κ_t^4 ：影响总截面

选题的背景及意义

- 超出标准模型新物理的研究
 - 利用共振态寻找重玻色子
 - 许多模型预言的重的一类希格斯粒子的存在，能极大的增加衰变到HH的产生截面
 - 例如 2HDM, MSSM, 等等



• ATLAS 实验



选题的背景及意义

- 多轻子末态寻找希格斯离子对
 - 存在问题
 - 众多分支比较小的过程
 - 单独分析的结果对combination作用微乎其微
 - 复杂的组合和重叠移除是严重的挑战
 - 解决方案
 - 不关心末态粒子的来源 ($WW\tau\tau$ 还是 $\tau\tau\tau\tau$)
 - 对所有末态分类, 考虑相同的分析策略

| HH decay mode | bb | WW | $\tau\tau$ | ZZ | $\gamma\gamma$ |
|----------------|-------|-------|------------|--------|----------------|
| bb | 33% | | | | |
| WW | 25% | 4.6% | | | |
| $\tau\tau$ | 7.4% | 2.5% | 0.39% | | |
| ZZ | 3.1% | 1.2% | 0.34% | 0.076% | |
| $\gamma\gamma$ | 0.26% | 0.10% | 0.029% | 0.013% | 0.0005% |

HH 衰变分支比

| Total branching ratios $HH \rightarrow AAB\bar{B} \rightarrow N\ell + X$ ($N \geq 2, \ell=e/\mu/\tau$) | | | | | | | |
|--|-------|---------|---------------|--------------------|---------------|--------|---------------|
| | WWWW | ZZbb | WW $\tau\tau$ | $\tau\tau\tau\tau$ | ZZ $\tau\tau$ | ZZZZ | Total |
| $2\ell + X$ | 1.4% | 0.4%*** | 1.1% | - | 0.3% | 0.06% | 3.3% |
| $3\ell + X$ | 0.4% | - | 1.1% | - | - | - | 1.6% |
| $4\ell + X$ | 0.05% | 0.03% | 0.3% | 0.4% | 0.06% | 0.012% | 0.8% |
| $\geq 5\ell + X$ | - | - | - | - | 0.003% | 0.004% | 0.007% |

- 相同电荷轻子末态 (2LSS) : $HH \rightarrow l^\pm l^\pm + X$
 - X可以是中微子, 喷柱等 (W,Z玻色子的衰变产物)
 - 多轻子末态中最灵敏的分析道
 - 同电荷轻子特征极大压低QCD本底

国内外本学科领域的发展现状与趋势

• Di-higgs 的寻找

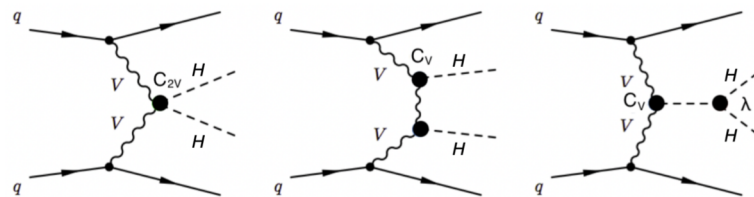
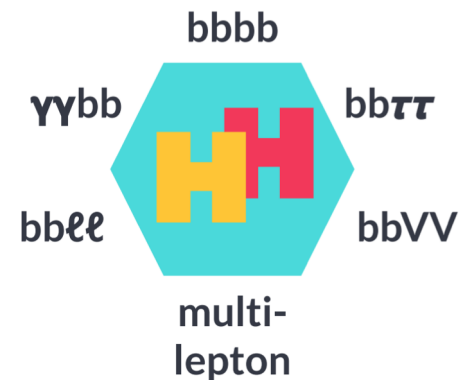
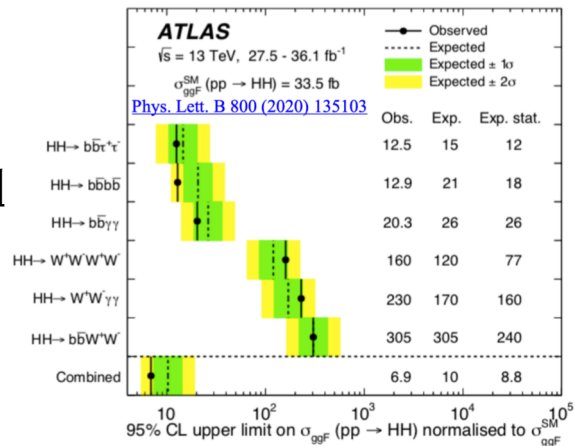
- Run1结果： $\sim 10 \times \text{SM}$ xs limits
- Run2: ATLAS 成立了6个分析小组
- VBF HH 过程的研究

• Run1 2LSS分析

- $HH \rightarrow WWWW \rightarrow l^\pm vl^\pm vqqqq$ 4W道的主要贡献
- 同时研究了HSh模型，给出了截面上限

• 多轻子道其他末态

- 接近给出统计误差的联合结果（大多数分析道）
- 2LSS0 τ , 1l1 τ , 1l2 τ
- 3l
- 4l
- X+ $\gamma\gamma$



课题的主要研究内容、预期目标

- 主要内容

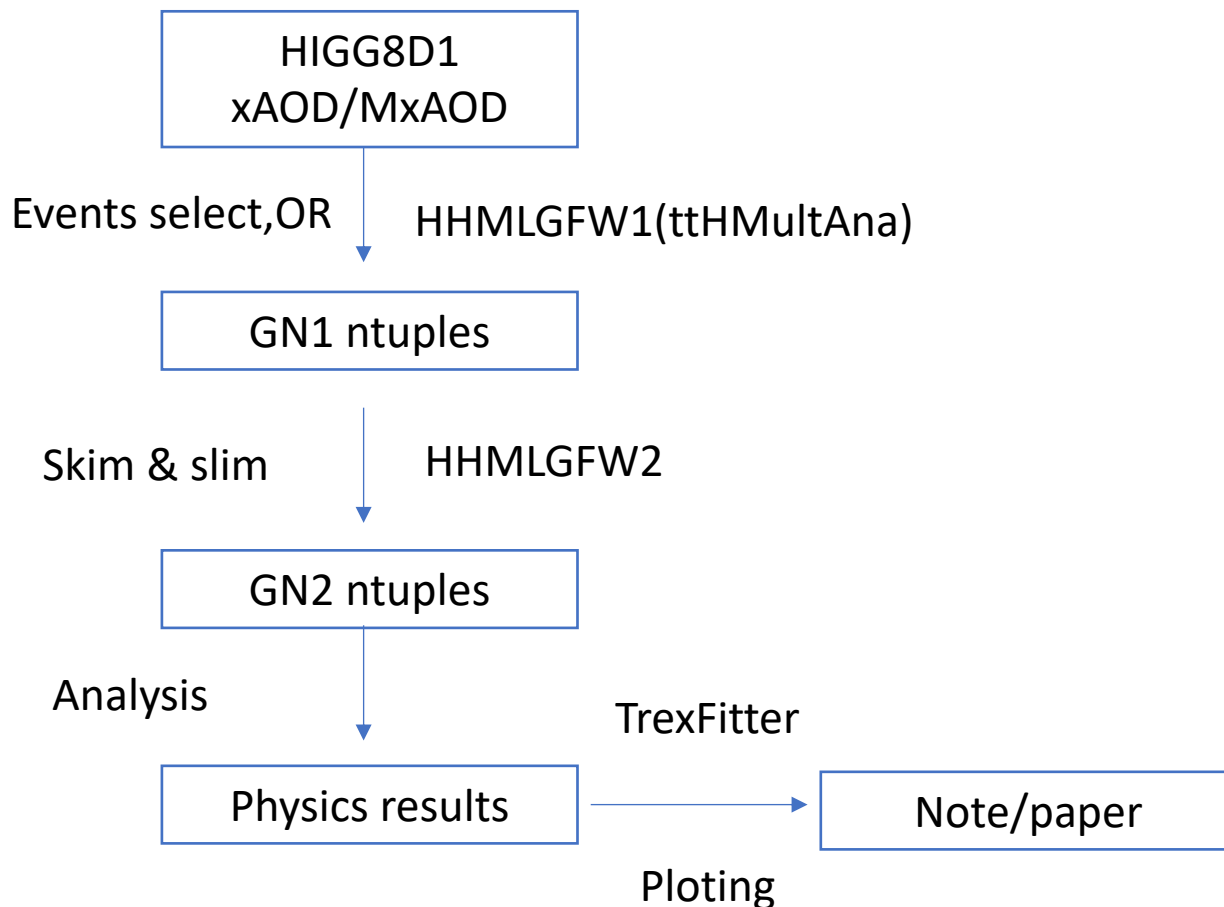
- 2LSS0tau分析： $pp \rightarrow HH \rightarrow l^\pm l^\pm + X$ 及BSM共振态的研究
- 信号，本底的蒙卡产生
- 事例定义与筛选
- 背景建模，信号区域优化
- 系统误差和统计分析

- 预期目标

- 2LSS道的HH的观测产生截面上限
- BSM 共振态的寻找，设置截面*分支比统计学上限
- 联合其他多轻子道，最终包含在Di-higgs联合结果中

拟采用的研究方法、技术路线、实验方案及其可行性分析

- 标准的ATLAS 数据分析流程
- workflow



实验方案及可行性

- 本底估计

- prompt轻子对, Vgam过程, 电荷误判轻子 (QmisID),以及假轻子过程 (fakes), 前两过程利用MC 模拟
- QmisID, fakes MC 不可信, 需要数据驱动方法估计

- QmisID:

- 电子电荷被误判, 缪子误判率太小 (10^{-5}) 而忽略
- 利用Z玻色子双轻衰变过程, 得到较纯净的Z玻色子不变质量峰
- 构建相应似然函数

$$\ln L(\epsilon|N_{SS}, N) = \sum_{i,j} \ln[N^{ij}(\epsilon_i + \epsilon_j - 2\epsilon_i\epsilon_j)]N_{SS}^{ij} - N^{ij}(\epsilon_i + \epsilon_j - 2\epsilon_i\epsilon_j)$$

- 根据观察到的SS,OS粒子数对得到估计值

实验方案及可行性

• Fakes 本底

- 被误认为电子或者缪子的可能来源有：重、轻味夸克衰变，光子由光电转换产生电子，轻质量强子形成的类似电子的簇团，K、pi在飞行过程中衰变出的缪子。
- 市面上存在的估计Fakes方法
- 误判率法 Factor Factor Method
 - 定义tight/Anti-tight 轻子，以及另一组对ff不敏感用于区分SR/CR的变量 (Njets)
 - 用CR 估计的ff = $\text{TightTight} / \text{TightAnti-tight}$ 应用在 SR区间
- 矩阵法 Martix Method
 - 考虑了真轻子和假轻子都通过/不通过 严格筛选的效率
 - 认为真轻子的效率为1时，退化为FF 情形
- 模板拟合法 Template Fit Method
 - 本质为浮动对fakes本底敏感的归一化常数

实验方案及可行性

- 信号区间优化

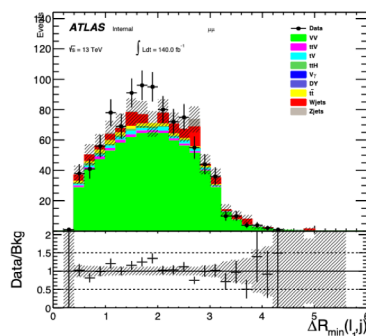
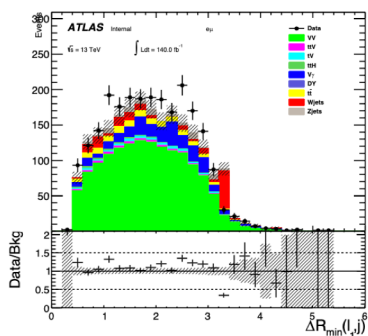
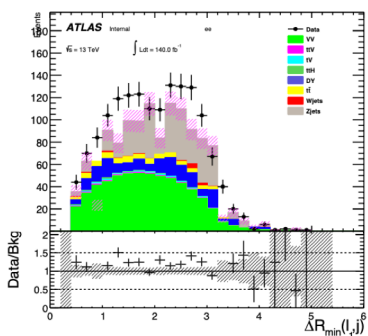
- 其他技术手段：利用多变量分析优化的用于压低QmisID和Fakes 本底的变量：
- QmisID BDT：将电子的误判率降低了十倍
- PromptLeptonVeto：极大改善了控制区间由于fakes造成的蒙卡数据不一致性
- 完成上述初选和背景估计后，利用BDT进一步优化信号

- 统计分析

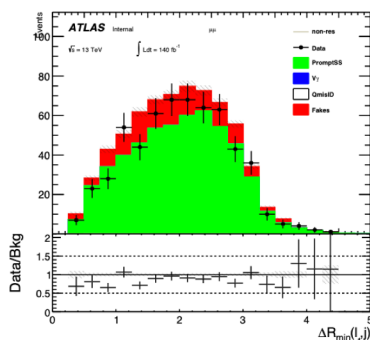
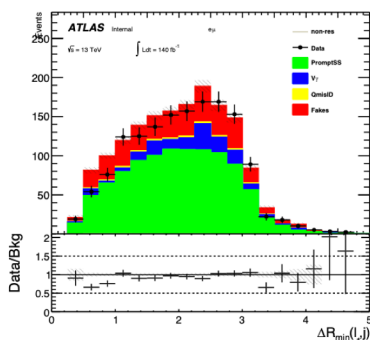
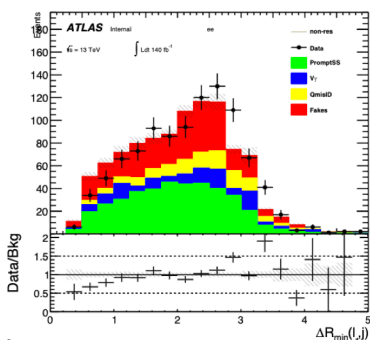
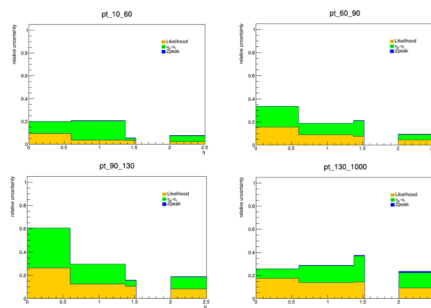
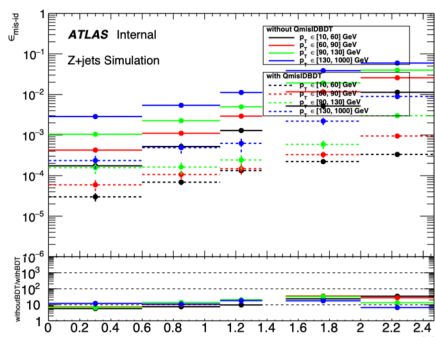
- 使用BDT score作为观测量来拟合 profile Likelihood function
- 软件包TrexFitter可以很好的处理系统误差和多个区间的拟合

已有研究基础与所需的研究条件

- 经过初选后的Data/MC 对比



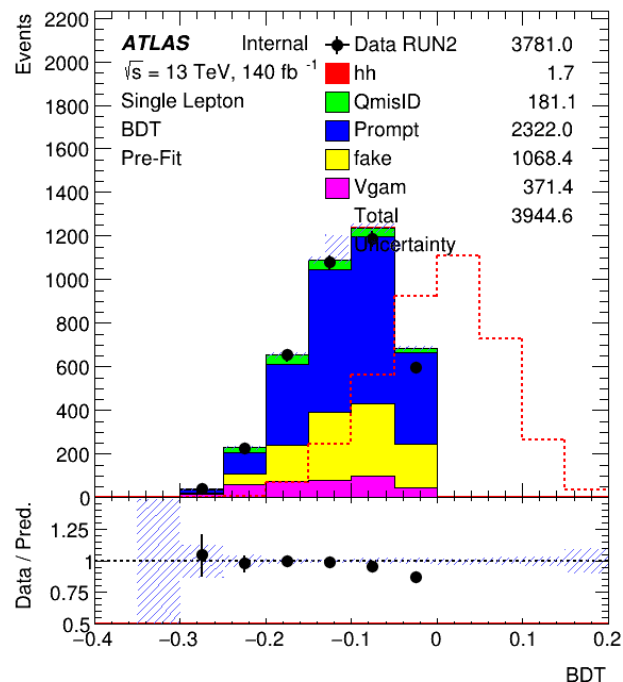
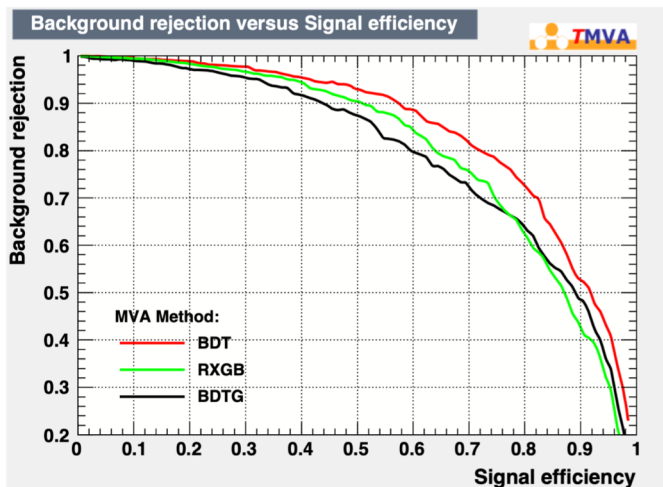
- Data driven 本底的估计



已有研究基础与所需的研究条件

信号区间优化和统计检验

- 几种多变量分析方法的尝试：BDT, BDTG, xgboost



- 95%置信度对应的截面上限

信号区间：BDT > -0.02

| -2sigma | -1sigma | Median | 1 sigma | 2sigma |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| 22.4057 | 30.0797 | 41.7452 | 58.5601 | 79.4719 |

研究工作计划与进度安排

- 2020.9-2020.11 完成不考虑系统误差的初步结果
- 2020.11-2021.9 完成SH分析和系统误差分析, 准备supporting note
- 2021.9-2022.2 按合作组的意见改进结果
- 2022.2-2022.8 论文的撰写和修改

参考文献

- [1] Observation of a New Particle in the Search for the Standard Model Higgs Boson with the ATLAS Detector at the LHC, ATLAS Collaboration, arXiv:1207.7214
- [2] Review of physics, M. Tanabashi et al. (Particle Data Group), Phys. Rev. D 98, 030001 (2018).
- [3] Constraints on the Higgs boson self-coupling from the combination of single-Higgs and double-Higgs production analyses performed with the ATLAS experiment, ATLAS-CONF-2019-049
- [4] Combined measurements of Higgs boson production and decay using up to 80 fb⁻¹ of proton-proton collision data at $\sqrt{s}=13$ TeV collected with the ATLAS experiment
Phys. Rev. D 101, 012002
- [5] Higgs pair production at the LHC with NLO and parton-shower effects. arXiv: 1401.7340
- [6] Combination of searches for Higgs boson pairs in pp collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV with the ATLAS detector
- [7] Combination of searches for Higgs boson pairs in pp collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV with the ATLAS detector
- [8] Searching Heavier Higgs Boson via Di-Higgs Production at LHC Run-2, arXiv: 1507.02644
- [9] Higgs Boson Pair Production in Gluon Fusion at Next-to-Leading Order with Full Top-Quark Mass Dependence, Phys. Rev. Lett. **117**, 079901 (2016)