

密级: _____



中国科学院大学
University of Chinese Academy of Sciences

硕士学位论文

BESIII 多气隙电阻板室飞行时间探测器刻度方法的研究

作者姓名: 郭迎晓

指导教师: 孙胜森 研究员

中国科学院高能物理研究所

学位类别: 工程硕士

学科专业: 计算机技术

研究 所: 中国科学院高能物理研究所

2017 年 6 月

Study of calibration of the Multi gap Resistive Plate
Chamber as Time of Flight Detector in BESIII
experiment

A Thesis Submitted to
University of Chinese Academy of Sciences
In partial fulfillment of the requirement
For the degree of
Master of Engineering

By
Yingxiao Guo
Thesis Supervisor: Professor Shengsen Sun

Institute of High Energy Physics
June,2017

中国科学院大学
研究生学位论文原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文是本人在导师的指导下独立进行研究工作所取得的成果。尽我所知，除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的研究成果。对论文所涉及的研究工作做出贡献的其他个人和集体，均已在文中以明确方式标明或致谢。

作者签名：

日 期：

中国科学院大学
学位论文授权使用声明

本人完全了解并同意遵守中国科学院有关保存和使用学位论文的规定，即中国科学院有权保留送交学位论文的副本，允许该论文被查阅，可以公布该论文的全部或部分内容，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存、汇编本学位论文。

涉密的学位论文在解密后适用本声明。

作者签名：

日 期：

导师签名：

日 期：

目 录

目录	i
第一章 利用样条插值方法对 MRPC 进行刻度	1
1.1 修正 Z 前进行插值	1
1.1.1 等事例数分 bin 拟合	2
1.1.2 两个高斯拟合和单个高斯拟合	3
1.1.3 Z 的修正	3
1.1.4 反射问题	4
1.2 修正 Z 后进行插值	4
1.2.1 Z 向的修正后, 时间对 TOT 的分布	4
1.2.2 插值	4
1.3 小结	5
参考文献	7

表 格

插 图

1.1	时间对TOT的分布	2
1.2	截取一个bin的时间分布	2
1.3	高斯拟合后的graph	3
1.4	样条插值	3
1.5	时间分辨	4
1.6	反射问题和过阈时间	4
1.7	Z修正前后时间对TOT的分布	5
1.8	Z修正后插值	5

第一章 利用样条插值方法对 MRPC 进行刻度

MRPC-TOF 直接测量的信息包括原始的飞行时间和过阈时间 (time-over-threshold ,简称 TOT)。为了得到精确的飞行时间信息，还需要对时幅游走、过大信号、粒子在对数条上的传播时间，以及在电子学电缆等的时间延迟等因素进行刻度和修正，还要进行离线分析。为了得到良好的时间分辨，必须对不同粒子的样本进行离线的刻度和修正，得到相应的刻度常数，再对原始数据进行重建从而得到飞行时间探测器的性能。MRPC-TOF 的离线刻度是通过比较测量时间 $t_{mea} = t_{raw} - t_0 - t_{cor}$ 与带电粒子从对撞顶点到击中 MRPC-TOF 的预期飞行时间 $t_{exp} = L/\beta c$ 来比较，其中 t_0 是事例的起始时间， t_{cor} 是时间的修正项； c 是真空中的光速， $\beta = p/\sqrt{p^2 + m^2}$ 是带电粒子的飞行时间， m 是粒子的质量，飞行长度 L 和动量 P 是通过主漂移室(MDC)测量得到的。飞行时间修正项 t_{cor} 是过阈时间 TOT 和 Z 向击中位置的函数。对于每一个读数条，每个读出单元定义：

$$\chi^2(counter, readout) = \sum_{event} (t_{mea} - t_{exp})^2$$

通过分析大量的事例样本，进行反复迭代，利用最小 χ^2 方法，刻度常数项可以通过 $\partial\chi^2/\partial P_i = 0$ 得到。在重建中，利用刻度得到的刻度常数对原始的飞行时间信息进行重建，就可以得到经过刻度修正得到的飞行时间信息。

STAR 实验MRPC采用的是样条插值 (spline Fit) 刻度的方法。因此本文也对 BESIII 的 MRPC 进行了样条插值方法的研究。本章主要介绍样条插值方法。分两部分介绍：先对 TOT 进行插值，之后对击中位置 Z 修正；先对击中位置 Z 进行修正，之后对 TOT 进行插值。并进行了一定的结果比较，发现先修正 Z，然后对 TOT 进行插值的结果比另一种方法好。

样条插值方法优点：光滑性好，且低阶就能拟合的很好。高能所集群下的 root 中有关于 TSpline 的类包，可以利用它完成样条插值的拟合。

本章数据选用的是 160524-160530 这期间 BESIII 对撞数据中的 Bhabha 事例。选用 Bhabha 事例是因为它事例量大，易于挑选，纯度高，适合做刻度样本。

1.1 修正 Z 前进行插值

本节以挑选的 Bhabha 事例中击中位置在 MRPC 中模块编号为 55，对数条编号为 7 这一个对数条为例。具体做法，就是先对 TOT 进行插值修正，之后对得到的结果再次对 Z 进行修正得到最终的时间分辨等刻度信息。

1.1.1 等事例数分 bin 拟合

- 以TOT的大小为度量对所选的事例数进行等事例数分 bin
- 对于每个 bin 区间，进行拟合
- 对于上一步得到的 mean 值进行插值，得到插值的刻度常数
- 利用上一步得到的刻度常数，对时间信息进行修正

等事例数分 bin 的原因是时间随 TOT 的分布是不均匀的。在小 q (声明：以下所有出现 q 都等同于 TOT) 和大 q 部分事例数很少，如果采用等区间分 bin 的话，会出现比较大的误差棒。分 bin 完成后，发现一个 bin 内时间有两个峰值。图 1.1a 是时间对 TOT 的分布，图 1.1b 是图 1.1a 截取的一部分。

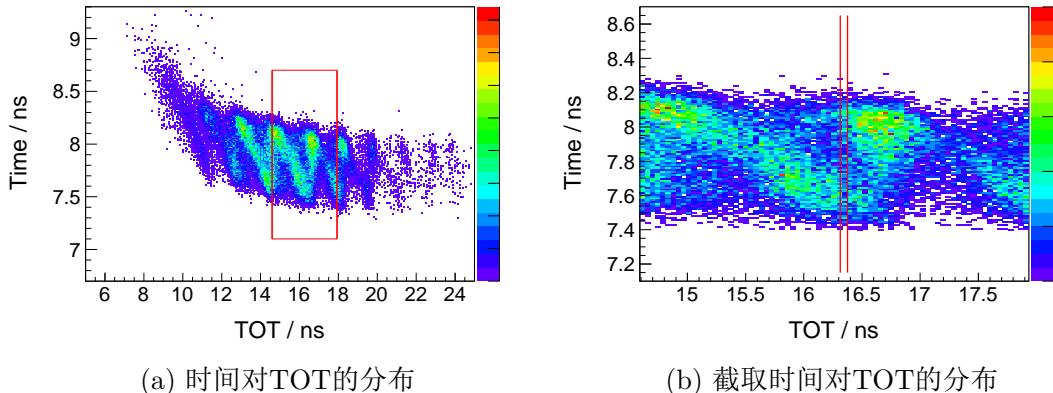


图 1.1: 时间对TOT的分布

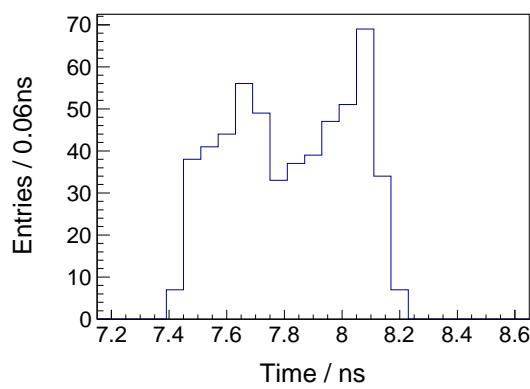


图 1.2: 截取一个bin的时间分布

图 1.2 是一个 bin 内的时间分布，可以明显看出具有双峰。对此，我没有办法在一个区间内得到一个合适的中心值。

1.1.2 两个高斯拟合和单个高斯拟合

图 1.3a , 1.3b 分布是对每个 bin 用两个高斯和一个高斯函数拟合后得到的中心值的分布

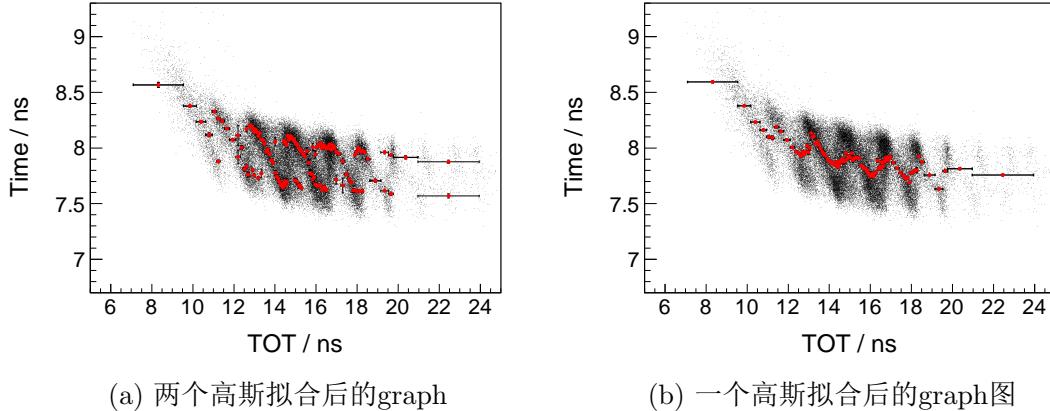


图 1.3: 高斯拟合后的graph

图 1.4a 第一种做法的样条插值曲线，每个 bin 的时间的中心值取那个比例高的。图 1.4b 第二种做法的样条插值曲线。可以看出，样条曲线已经把之前graph点的趋势拟合了。

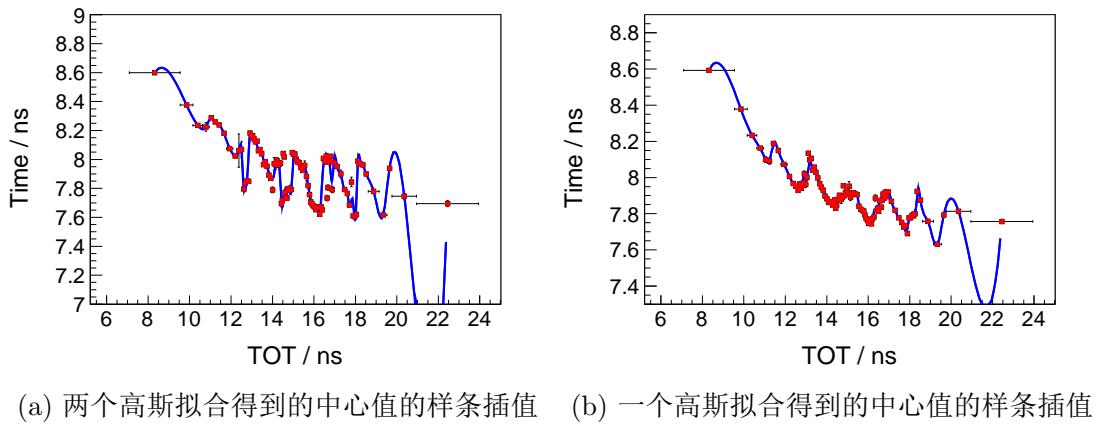


图 1.4: 样条插值

1.1.3 Z 的修正

不管上述的哪种方法，插值修正完 TOT 后，时间随 Z 的分布都还有依赖，对此进行一个 Z 项的修正，然后得到时间分辨。图 1.4a 第一种做法得到的时间分辨，为 160ps；图 1.4b 第二种做法得到的时间分辨，为 92ps。这个结果和下一节先修正 Z，后修正 TOT 的结果相比，差别很大。

分析原因：TOT 的多峰来自反射。一次反射内，时间对 TOT 的依赖近似线性关系，样条插值的光滑性决定不能完全描述这种关系。

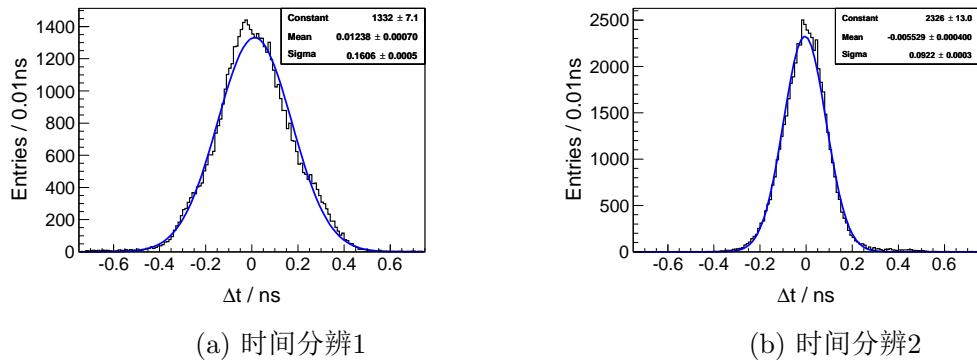


图 1.5: 时间分辨

1.1.4 反射问题

图 1.6a 是信号的过阈时间。对于一定的阈值，幅度大小不同的信号，对应的过阈时间不同。信号幅度越大，过阈时间也就越大。图 1.6b 是 MRPC 读数条的反射问题，分为近端反射和远端反射。由于读数条本身较短，反射信号只是比真实信号时间晚不到1ns，这样导致反射信号和原来的真实信号叠加。测量的 TOT 也就变大了。正是由于过阈时间和反射问题的存在，导致时间对 TOT 的分布复杂。对时间和 TOT 的关系的研究也刻度研究的重点和难点部分。

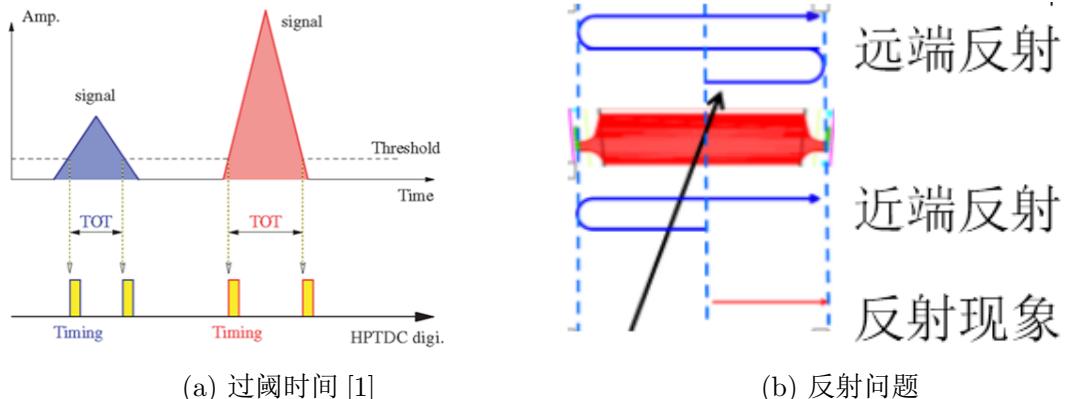


图 1.6: 反射问题和过期时间

1.2 修正 Z 后进行插值

1.2.1 Z 向的修正后，时间对 TOT 的分布

图 1.7a 和图 1.7b 是 Z 修正前后时间对 TOT 的分布。可以看出，修正完 Z 后时间对 TOT 的折线几乎消失。在此基础上，对 TOT 进行插值拟合。

1.2.2 插值

图 1.8a 是修正完 Z 后对 TOT 的样条插值曲线；图 1.8b 是这种方法得到的最终的时间分辨，为 64ps，比之前先对 TOT 插值修正得到的时间分辨好。

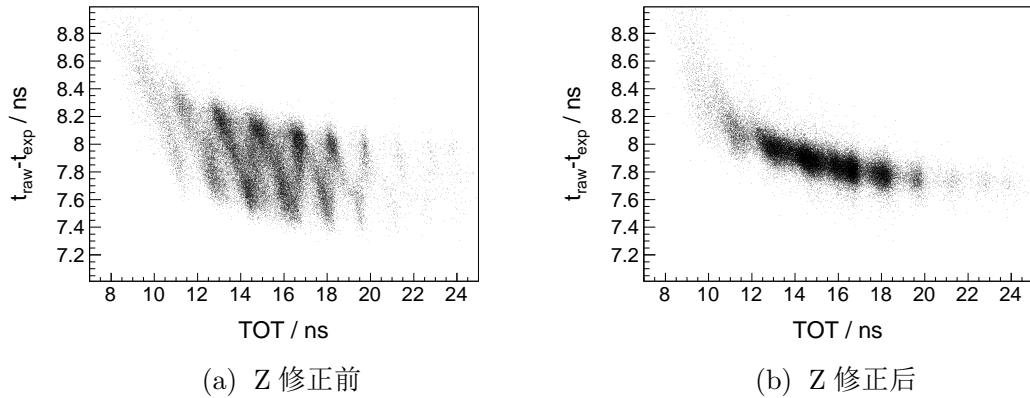


图 1.7: Z 修正前后时间对 TOT 的分布

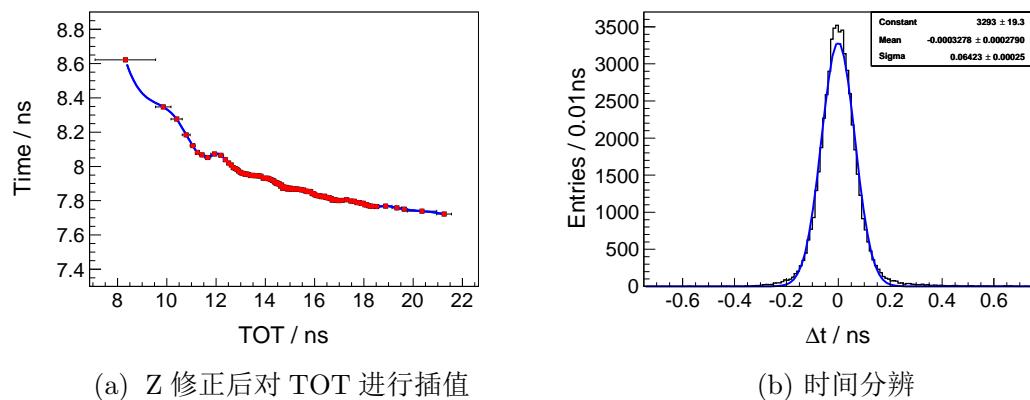


图 1.8: Z 修正后插值

这种对比也说明了先对 Z 进行修正，之后再对 TOT 进行修正时正确的。

1.3 小结

本章利用样条插值方法，从几个不同的方法对 MRPC 的刻度方法进行了研究和分析。根据不同的方法得到的时间分辨，修正完后时间对 Z，时间对 TOT 的分布等比较，得出对于 BESIII 实验的 MRPC 刻度应该先对 Z 进行修正，然后对 Z 进行修正。插值方法

参考文献

- [1] Ming Shao. et al. Upgrade of the calibration procedure for a STAR time-of-flight detector with new electronics. *IOP science.*, 20:025102, 2009.
- [2] 杜东生, 杨茂志. 粒子物理导论. 北京科学出版社, 2014.
- [3] Raymond Davis, Jr., Don S. Harmer, and Kenneth C. Hoffman. Search for neutrinos from the sun. *Phys. Rev. Lett.*, 20:1205–1209, 1968.
- [4] Q. R. Ahmad et al. Direct evidence for neutrino flavor transformation from neutral current interactions in the Sudbury Neutrino Observatory. *Phys. Rev. Lett.*, 89:011301, 2002.
- [5] Y. Fukuda et al. Evidence for oscillation of atmospheric neutrinos. *Phys. Rev. Lett.*, 81:1562–1567, 1998.