

BESIII漂移室边界场丝层补偿电压的研究

伍灵慧^{1,2;1)} 刘建北^{1,2} 秦中华^{1,2} 陈昌¹ 庄保安¹ 陈元柏¹ 王贻芳¹
金艳¹ 刘荣光¹ 马骁妍¹ 马媛媛¹ 唐晓¹ 王岚¹
徐美杭¹ 张桂芳¹ 朱旻萱¹ 朱启明¹

1 (中国科学院高能物理研究所 北京 100049)

2 (中国科学院研究生院 北京 100049)

摘要 BESIII 漂移室边界丝层单元存在着严重的 X-T 关系左右不对称问题, 模拟研究表明在边界场丝层上设置适当的补偿电压能很有效地减小这种不对称. 通过 BESIII 漂移室模型的束流测试验证了边界场丝层补偿电压方案对减小 X-T 关系左右不对称的有效性, 同时还研究了补偿电压对边界丝层单元空间分辨及 dE/dx 测量的影响.

关键词 漂移室 X-T 关系 边界丝层 BESIII

1 引言

新一代北京谱仪(BESIII)的漂移室将采用类正方形小单元结构, 中心为信号丝, 周围8根场丝, 信号丝接正高压, 场丝接地, 并工作在1T强磁场中. BESIII 漂移室共有43层信号丝, 其中19层直丝, 24层斜丝²⁾. 在直丝和斜丝的交界处, 如果共用场丝层, 那么斜丝下陷将使得单元内电场分布沿丝方向变化很大, 从而导致漂移距离与时间的关系(X-T关系)沿丝方向存在很大差异. 因此, 在BESIII 漂移室的直斜丝交界处, 直丝层和斜丝层分别拥有各自的场丝层¹⁾.

直斜丝交界处的丝层安排见图1, 信号丝层S1, S2在交界处分别拥有各自的场丝层F1, F2. 当所有场丝接地, 信号丝接正高压时, 由于边界的影响, S2与F2之间电场强度比S2与F3之间高, 即电场径向不对称. 这种电场径向不对称将造成单元X-T关系左右不对称²⁾. 以S2层中的单元为例, 在图中所示的磁场下, 信号丝左右两侧的电子漂移线分别向内外两侧弯曲. 由于电场径向不对称, 靠近F3一侧的场强较弱, 因此信号丝左侧电子的漂移速度较小, 漂移线弯曲程度更大, 电子漂移时间更长.

此外, 与漂移室内外桶相邻的丝层也存在相同的问题. 为了便于描述, 以下把直斜丝交界处以及与内外桶相邻的丝层统称为边界丝层. 为了简化离线刻度, 应尽可能减小边界丝层单元X-T关系的左右不对称. 在边界场丝层上设置正高压(以下简称补偿电压), 能减小边界单元内靠近边界一侧的场强, 从而提高电场的径向一致性, 预期能改善边界丝层单元X-T关系的左右不对称. 本文模拟了补偿电压对BESIII 漂移室边界丝层单元X-T关系的影响, 并通过一个漂移室模型的束流测试讨论了边界场丝层补偿电压的有效性, 同时还研究了补偿电压对边界丝层单元性能的影响.

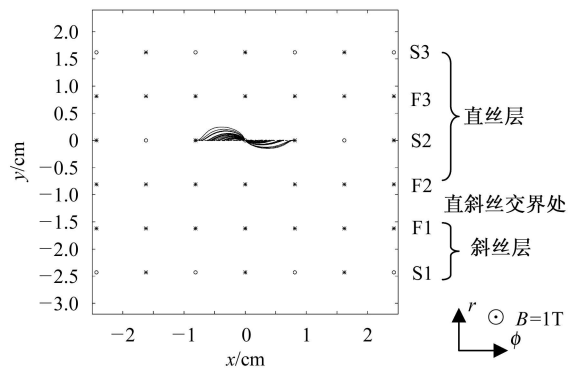


图1 直斜丝交界处丝层安排局部示意图(○信号丝, *场丝.)

2005 - 10 - 18 收稿

1) E-mail: wulh@mail.ihep.ac.cn

2) BESIII初步设计报告. 高能物理研究所内部资料, 2004

2 补偿电压对边界丝层单元 X-T 关系影响的模拟研究

使用 Garfield^[3] 对 BESIII 漂移室边界丝层单元的漂移时间分布进行了模拟, 磁感应强度为 1T. 图 2 给出了无补偿电压时第 36 层单元内漂移距离为 7mm 处的漂移时间分布, 其中工作高压为 2200V. 第 36 层位于直斜丝交界处, 从图中可以看到, 相同漂移距离处, 电场径向不对称导致了信号丝左右两侧漂移时间的明显差别.

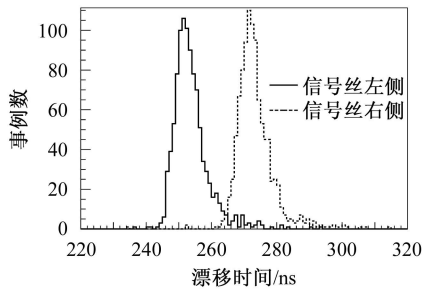


图 2 无补偿电压时 BESIII 漂移室第 36 层单元漂移时间分布
工作高压为 2200V, 漂移距离为 7mm, 磁感应强度为 1T.

ΔT 表示相同漂移距离处信号丝左右两侧的漂移时间差, 图 3 给出了各种补偿情况下 ΔT 与漂移距离的关系. 图 3(a) 显示了没有补偿电压时 ΔT 与漂移距离的关系. 可以看到, 信号丝附近 X-T 关系的左右差别很小, 但随着漂移距离的增加, ΔT 迅速增大, 当漂移距离为 7mm 时, 右侧漂移时间比左侧长 19ns, 反映了 X-T 关系存在着严重的左右不对称.

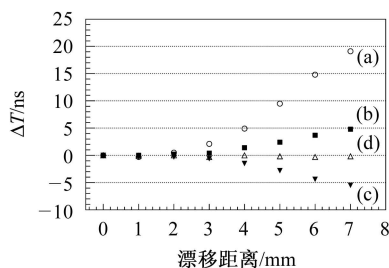


图 3 第 36 层单元左右漂移时间差 ($\Delta T = T_{\text{右}} - T_{\text{左}}$) 随漂移距离的变化
工作高压为 2200V, 磁感应强度为 1T. (a) 无补偿; (b) 欠补偿; (c) 过补偿; (d) 最佳补偿.

为了提高边界丝层单元电场的径向一致性, 在边界场丝层上设置补偿电压, 并调整信号丝高压以保证信号丝线电荷密度的一致性. 在第 36 层的边界场丝上设置 100V 电压后 ΔT 的模拟结果见图 3(b), 可以看到

漂移时间的左右差异明显减小, 但仍能明显看到右侧漂移时间比左侧长, 表明单元内靠边界一侧的电场仍然较强. 这种情况属于欠补偿, 应该提高补偿电压.

图 3(c) 是设置了 200V 补偿电压后的模拟结果, 可以看到, 与 (b) 相反, 信号丝左侧漂移时间比右侧长. 这属于过补偿, 应该降低补偿电压.

当补偿电压设置为 150V 时模拟结果如图 3(d) 所示, 可以看到, 信号丝左右两侧的漂移时间差别很小, 当漂移距离小于 7mm 时 ΔT 不超过 2ns, 与非边界层单元情况一致, 表明此时的补偿电压是合适的. 图 4 是漂移距离为 7mm 时信号丝左右两侧的漂移时间分布, 可以看到, 左右漂移时间分布有很好的 consistency.

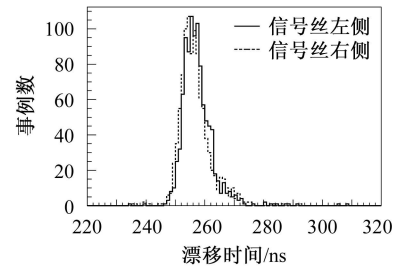


图 4 有补偿电压时 BESIII 漂移室第 36 层单元漂移时间分布
工作高压为 2200V, 漂移距离为 7mm, 磁感应强度为 1T.

以上结果表明, 在边界场丝层上设置补偿电压, 并通过左右漂移时间的模拟对补偿电压进行优化, 选择最佳的补偿方案, 能够有效地减小边界丝层单元的左右漂移时间差异, 从而提高 X-T 关系的左右一致性.

3 补偿电压的实验研究

在日本 KEK12GeV/c 质子同步加速器的 π^-2 实验束束上对一个 BESIII 漂移室模型进行了束流测试. 该实验束能提供 π , p, e 等粒子, 动量在 0.6—4GeV/c 范围内可调. 此外束流线上还配备了一个电磁铁. 边界场丝层补偿电压的实验研究在 $B = 1\text{T}$ 条件下进行, 并选择动量为 4.0GeV/c 的 π^- 事例以减小多次散射的影响.

3.1 测试模型

模型被设计成圆柱形漂移室的一部分, 宽约 275mm, 高约 295mm, 深约 240mm, 包括上下端板、左右侧板及内外壁几部分. 为了模拟 BESIII 漂移室内外桶壁对边界丝层的影响, 将模型内外壁设计成圆弧形, 内外半径分别为 568, 790mm. 模型共有 12 个信号

丝层, 每层 6—9 个单元, 如图 5 所示. 前 5 层单元平均半宽 6mm, 其单元结构及丝层安排与 BESIII 漂移室内室部分相似; 后 7 层单元平均半宽 8.1mm, 其单元大小及丝层半径与 BESIII 漂移室外 7 层一致¹⁾. 为了进行直斜丝交界处场丝层补偿电压的研究, 第 5, 6 层参照了 BESIII 漂移室直斜丝交界处的设计方法^[1], 分别拥有各自的场丝层. 详细的丝层安排见文献[4]. 由图可见, 第 1, 5, 6, 12 层均为边界丝层.

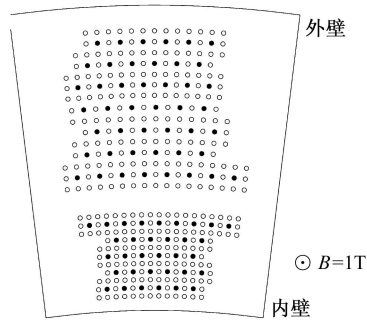


图 5 模型丝层安排示意图

利用 Garfield 程序计算确定了模型丝层的工作高压, 其原则是保证信号丝线电荷密度一致, 从而保证单元气体增益一致; 利用第二节中对补偿电压设置的模拟方法得到各层的最佳补偿电压值, 其原则是使得在 1T 磁场中单元的左右漂移时间差别最小. 详细的高压设置见表 1, 其中参考高压定义为相同电荷密度下半宽为 8.1mm 标准正方形单元的工作高压.

表 1 模型工作高压设置表

丝层号	参考高压值/V					
	2150		2200		2250	
	有补偿电压	无补偿电压	有补偿电压	无补偿电压	有补偿电压	无补偿电压
F1-	180	0	190	0	190	0
S1	2035	1980	2085	2025	2130	2070
S2	2035	2035	2085	2080	2130	2130
S3	2035	2035	2085	2080	2130	2130
S4	2040	2035	2085	2080	2130	2130
S5	2040	2000	2085	2045	2130	2090
F5+	110	0	100	0	100	0
F6-	170	0	170	0	180	0
S6	2155	2095	2205	2145	2255	2195
S7	2155	2150	2205	2200	2255	2250
S8	2165	2165	2215	2215	2265	2265
S9	2165	2165	2215	2215	2265	2265
S10	2130	2130	2180	2180	2230	2230
S11	2145	2140	2195	2190	2245	2240
S12	2145	2085	2195	2135	2245	2180
F12+	190	0	200	0	200	0

注: S 代表信号丝层, F 代表场丝层, “-” 表示信号丝层内侧, “+” 表示信号丝层外侧, 未注明的场丝层均接地.

3.2 实验结果

3.2.1 补偿电压对 X-T 关系的影响

工作高压为 2200V、无补偿电压时单元 X-T 关系的实验结果见图 6. X-T 关系采用了分段函数拟合, 在单元大部分区域内采用 5 阶多项式; 而在场丝附近, 漂移时间随漂移距离的增加迅速增大, 这部分区域内 X-T 关系采用 1 阶多项式拟合. 同一丝层中的单元采用相同的 X-T 关系.

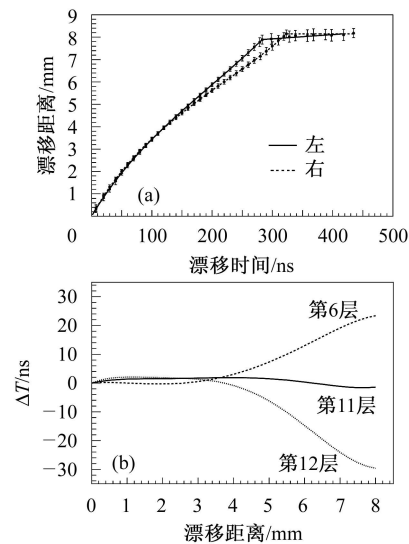


图 6 无补偿电压时部分丝层 X-T 关系的实验结果 (a) 第 12 层单元的 X-T 关系; (b) 第 6, 11, 12 层单元 X-T 关系左右差异的对比 ($\Delta T = T_{左} - T_{右}$). 工作高压为 2200V, 磁感应强度为 1T.

第 11 层为非边界丝层, 单元 X-T 关系左右差异很小, 可以看到, 漂移距离小于 8mm 时 ΔT 不超过 5ns. 而边界丝层单元 X-T 关系的左右差别则很明显, 单元边缘 ΔT 可达 30ns. 第 6 层位于外 7 层单元的内边界, 在图 5 所示的磁场方向下, 信号丝左侧漂移时间较长; 第 12 层位于外边界, 情况正好相反, 与预期一致.

图 7 为边界场丝层上设置补偿电压后 X-T 关系的实验结果. 可以看到, 边界丝层单元 X-T 关系的左右差异明显减小, 漂移距离小于 8mm 时 ΔT 不超过 5ns, 与非边界丝层单元情况相似. 这验证了补偿电压对减小边界丝层单元 X-T 关系左右不对称的有效性. 减小单元 X-T 关系的左右差异, 有利于简化离线刻度.

此外, 从图中还可看到, 在磁场中单元的 X-T 关系不可能左右完全对称. 这是由于无法完全消除单元的电场径向不对称.

1) BESIII 初步设计报告. 高能物理研究所内部资料, 2004

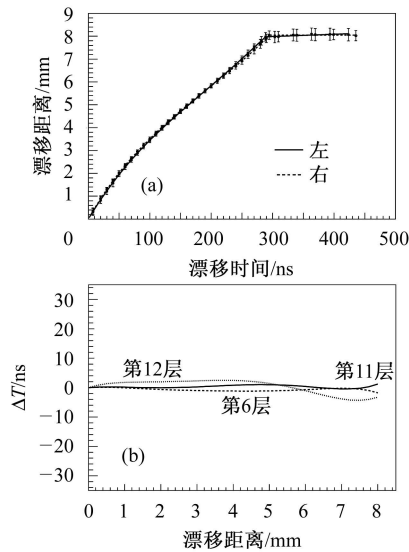


图7 有补偿电压时部分丝层X-T关系的实验结果
(a) 第12层单元的X-T关系; (b) 第6, 11, 12层单元X-T关系左右差异的对比($\Delta T = T_{左} - T_{右}$). 工作高压为2200V, 磁感应强度为1T.

3.2.2 补偿电压对空间分辨的影响

在研究补偿电压对空间分辨的影响时, 首先采用单元左右独立的X-T关系, 有无补偿两种情况下得到的各丝层空间分辨见图8. 通过比较可知, 两种情况下得到的各丝层空间分辨差别很小, 表明补偿电压对空间分辨没有明显影响.

图8还给出了采用左右统一的X-T关系时得到的各丝层空间分辨, 可以看到, 对于非边界丝层, 有无补偿两种情况下分别采用两种X-T方案得到的空间分辨没有明显差别, 反映了X-T关系有较好的左右一致性. 而对于边界丝层, 无补偿时采用左右独立的X-T关系得到的空间分辨明显好于采用左右统一的X-T关系得到的结果; 设置补偿电压后, 采用两种X-T方案的得到的空间分辨差别很小, 表明补偿电压有效地减弱了边界丝层单元X-T关系的左右差异, 使得在离线处理中可以采用左右统一的X-T关系, 从而简化离线刻度.

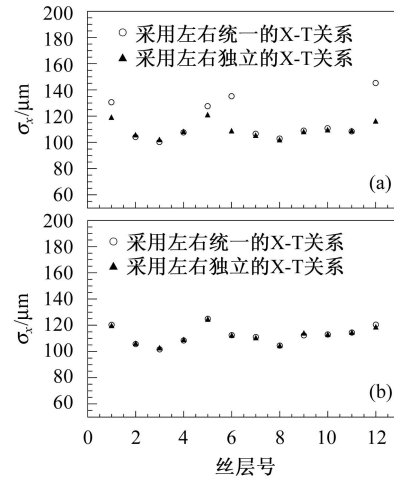


图8 有无补偿电压两种情况下分别采用两种X-T方案得到的模型各丝层的空间分辨
(a) 边界场丝层无补偿电压; (b) 边界场丝层有补偿电压. 工作高压为2200V, 磁感应强度为1T.

3.2.3 补偿电压对 dE/dx 测量的影响

补偿电压改变了边界丝层单元的电场分布, 影响单元的电荷收集, 因而可能影响 dE/dx 测量. 通过利用边界丝层进行 dE/dx 测量, 发现在有无补偿电压两种情况下得到的 dE/dx 分辨分别是4.6%和4.7%, 表明补偿电压对 dE/dx 测量没有明显影响.

4 结论

BESIII漂移室边界丝层的特殊结构造成了边界丝层单元内电场的径向不对称, 在边界场丝层上设置补偿电压并结合对单元左右漂移时间的模拟选择最佳的补偿方案, 能够有效地减弱边界丝层单元电场的径向不对称, 从而减小X-T关系的左右差异. 空间分辨的实验结果表明, 设置补偿电压后分别采用左右统一和左右独立的X-T关系, 得到的空间分辨没有明显差别. 边界丝层 dE/dx 的测量结果表明, 补偿电压对 dE/dx 测量也没有明显影响.

感谢Shoji.Uno先生及其同事的大力支持和帮助.

参考文献(References)

- 1 WU Ling-Hui, LIU Jian-Bei, CHEN Yuan-Bo et al. HEP & NP, 2005, **29**(5): 476—480 (in Chinese)
(伍灵慧, 刘建北, 陈元柏等. 高能物理与核物理, 2005, **29**(5):476—480)
- 2 Peterson D. Nucl. Instrum. Methods, 2002, **A478**: 142
- 3 Veenhof R. Garfield help pages. <http://consult.cern.ch/writeup/garfield/help>
- 4 LIU Jian-Bei et al. Preliminary Beam Test Results of a Prototype of BESIII DC. In: Proceedings of the 12th National Conference on Nuclear Electronics & Nuclear Detection Technology. Kunming, Yunnan. 2004. 180—184 (in Chinese)
(刘建北等. BESIII 漂移室模型束流测试的初步结果. 见: 第十二届全国核电子学与核探测技术学术年会论文集. 云南昆明: 2004. 180—184)

Study of the Compensation Voltage on the Boundary Field Layer of the BESIII Drift Chamber

WU Ling-Hui^{1,2;1)} LIU Jian-Bei^{1,2} QIN Zhong-Hua^{1,2} CHEN Chang¹ ZHUANG Bao-An¹
CHEN Yuan-Bo¹ WANG Yi-Fang¹ JIN Yan¹ LIU Rong-Guang¹ MA Xiao-Yan¹
MA Yuan-Yuan¹ TANG Xiao¹ WANG Lan¹ XU Mei-Hang¹ ZHANG Gui-Fang¹
ZHU Min-Xuan¹ ZHU Qi-Ming¹

1 (Institute of High Energy Physics, CAS, Beijing 100049, China)

2 (Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract There exists strong left-right asymmetry of the X-T relation in the boundary cell of the BESIII drift chamber. The simulation indicates that this kind of asymmetry can be reduced by applying compensation voltage on the boundary field layer, which is confirmed in a beam test for a prototype chamber. The impact of the compensation voltage of the boundary cell on the spacial resolution and the dE/dx measurement is reported in this paper.

Key words drift chamber, X-T relation, boundary layer, BESIII