

R 值测量中束流相关本底的扣除方法*

鄢文标¹ 蔡啸¹ 迟少鹏¹ 戴玉梅² 黄光顺¹ 李会红³
王志勇⁴ 张雷¹ 张良生¹ 赵政国¹

1(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

2(辽宁大学物理系 沈阳 110036)

3(华中师范大学粒子物理研究所 武汉 430079)

4(中国高等科学技术中心 北京 100080)

摘要 利用北京谱仪 R 值扫描数据,研究了束流相关本底的特征及其扣除方法. 采用 f 因子方法和拟合强子事例顶点 z 分布的方法来扣除残余束流相关本底,并讨论其对 R 值测量误差的贡献. 结果表明,两种方法对 R 值测量误差的影响约为 0.3% 至 2.3%.

关键词 R 值测量 强子事例 束流相关本底事例 北京谱仪

1 引言

北京谱仪^[1] R 值测量实验中,强子事例的选择过程实际上是非强子事例的排除过程^[2,3].

非强子本底来源有:宇宙线本底、轻子对事例(e^+e^- , $\mu^+\mu^-$, $\tau^+\tau^-$)、束流相关本底、双光子过程本底、各种噪声干扰等. 从图 1 中所示的在线各种事例的事例数可以看出:强子事例只占总事例的一小部分. 因此如何有效地扣除各种非强子事例,对 R 值分析过程是至关重要的. 轻子对事例和双光子过程本底均有一定的拓扑特征可遵循,并且其对强子样本的污染也可以用蒙特卡罗方法来扣除. 宇宙线事例其特征是无明确的顶点分布,往往表现为背对背的 μ 径迹,两条径迹的飞行时间差较大,总沉积能量小. 通过相应的选择条件后,宇宙线事例基本上被排除干净,残余比例可忽略不计. 各种噪声干扰,由于没有好的拟

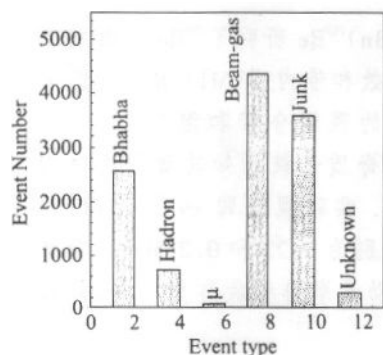


图 1 3.0 GeV (R99 数据) 的在线各种事例的事例数

2002-01-22 收稿

* 国家自然科学基金(19991480, 19805009), 中国科学院重大项目(KJ95T-03)和国家杰出青年科学基金(19825116)资助

合径迹,重建后的事例总能量很小,不可能被误判为强子事例.束流相关本底与强子事例的事例数之比比较大,并且也能具有强子事例的部分特征,因而是强子样本的主要本底来源.研究其特性并尽可能扣除它,是强子事例选择过程的重要部分.

2 束流相关本底事例的一般特征

抽真空时未抽尽而残留在束流管中的气体分子(其压强典型值大约是 3×10^{-6} Pa. 其成分主要是氢、氮等较轻的分子)与 e^+e^- 束流发生作用,这被称为束流-气体相互作用本底.此外,束流并不是严格地局限于在某一空间范围内,其弥散的正负电子打在管壁所产生的反应也能对强子样本造成污染,这被称为束流-管壁相互作用本底.我们将这些本底统称之为束流相关本底(Beam-associated background)^[4-6].

对于束流-气体/束流-管壁的相互作用,按其作用对象分为两类.电子束流与气体或管壁分子的核外电子发生作用,包括穆勒散射: $e^- + e^- \rightarrow e^- + e^-$; 巴巴散射: $e^+ + e^- \rightarrow e^+ + e^-$ 和湮没过程.对于穆勒散射和巴巴散射,动量高的出射电子会比较接近 z 轴,因而进入北京谱仪的死区而不被记录,角度大的出射电子的动量又很低,也不重要.对于湮没过程,由于入射电子的动量很大,截面会很小,可忽略不计.因而可以推测束流相关本底的主要过程为电子束流与气体或管壁分子中的原子核发生作用.根据其相互作用能量的高低依次表现为弹性散射、共振激发、深度非弹性散射.由于束团中的正、负电子的速度远大于束流管中气体分子和束流管管壁中分子做热运动的速度,所以它们的作用可看作束流打固定靶.和强子事例比起来,束流相关本底有如下特征:

事例径迹顶点分布.强子事例起源于 e^+e^- 对撞,其径迹顶点就是对撞点,由于束团的空间延展和径迹拟合的偏差,径迹顶点(定义为与坐标原点距离最近的径迹上的那一点)可能会偏离坐标原点(北京谱仪的几何中心),但偏离不会很大.而束流相关本底则是

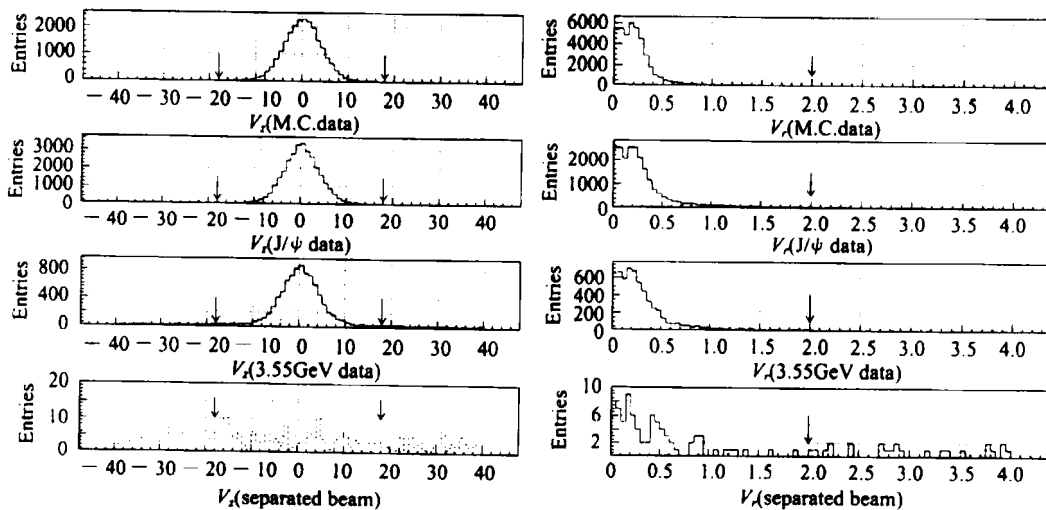


图 2 强子径迹 V_x 分布 ($MFIT = 2$)

箭头指示截断位置.

图 3 强子径迹 V_x 分布 ($MFIT = 2$)

箭头指示截断位置.

束流中的电子与气体或管壁中的某一分子随机地发生作用,其顶点分布是不确定的.其顶点在 z 轴方向的分布,延伸到整个 z 轴;在横向平面上,则扩展到束流管的整个横剖面.图 2 和图 3 分别给出了 3.55GeV 蒙特卡罗数据、 J/ψ 数据、3.55GeV 数据和分离束数据中径迹质量为好的螺旋度拟合 ($MFIT = 2$) 时的 V_z 和 V_x 分布¹⁾. 可见对顶点的切割要求使好径迹损失很少,对束流相关本底的抑制则很明显.

事例径迹方向各向异性. 强子事例是 e^+e^- 湮没后产生的,由于 BEPC 是完全对称的对撞机,系统的总动量为零. 强子末态的各粒子原则上可向各个方向运动. 对束流相关本底事例而言,系统的总动量基本上是束流的动量,其末态粒子基本上都顺着束流的方向运动. 与束流运动方向相反的粒子很少或没有,因而束流相关本底事例具有前冲性. 因此可设置一个径迹方向平衡条件来区分强子事例和束流相关本底事例. 具体方法如下:以探测器的几何中心(对撞点)为参考点,以 z 方向坐标为基准. 对中性径迹,其 z 坐标就是其在簇射计数器的第一层击中的 z 向位置;对带电径迹,其 z 坐标是从主漂移室外推到簇射计数器的第一层的 z 向位置. 对一个事例的所有径迹而言,如果其 z 向坐标都在对撞点的同一侧,则把此事例看作束流相关本底事例,反之则为强子事例.

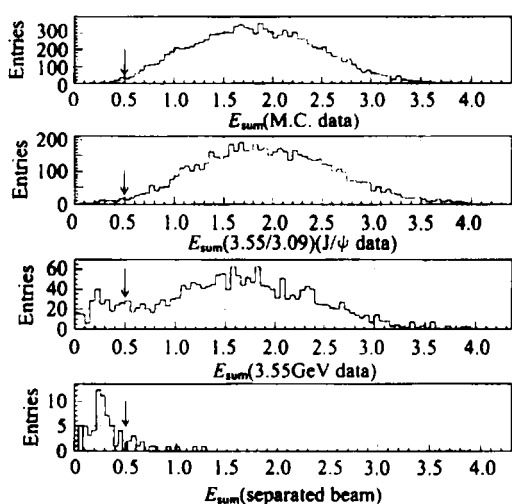


图 4 事例总沉积能量 E_{sum} 的分布
箭头指示截断位置.

事例的总沉积能量偏低. 好的强子事例在簇射计数器中有一定的能量沉积,而束流相关本底事例的能量沉积都很小. 其原因是:1. 初始总能量小,本底事例的总动量、能量基本是束流的动量、能量,约为对撞质心系能量的一半. 2. 由于束流相关本底的前冲性,本底事例的相当一部分径迹沿束流方向运动进入探测器两端的死区而不被探测到,导致束流相关本底事例的总沉积能量不大. 图 4 给出了从 3.55GeV 蒙特卡罗数据、 J/ψ 数据、3.55GeV 数据和分离束数据得到的候选强子事例的总沉积能量分布的比较,图中箭头指示于 $0.28 E_{beam}$ 位置 (E_{beam} 是束流能量),可见对总沉积能量的要求对效率造成的损失不大,但是能够排除大部分的束流相关本底.

带电多重数偏低. 对束流相关本底事例,其总能量基本是束流的能量,因此末态粒子的带电多重数比较小. 其带电多重数大多只是 1,一般不会超过 4. 在质心系能量为 2—5GeV 时,强子事例的平均带电多重数大约为 4. 因此通过对事例好径迹数目的限制可以有效地压低束流相关本底事例.

1) V_z 和 V_x 分别是带电径迹顶点的纵向坐标和横向坐标.

3 束流相关本底事例的排除条件^[1,2]

由此,我们要求事例满足如下条件以排除束流相关本底:

1. 好的径迹拟合质量 $MFIT = 2$, 顶点位置 $V_r < 2.0\text{cm}$, $|V_z| < 18\text{cm}$; 2. 事例中的好径迹数目大于或等于 2; 3. 事例的总沉积能量 $E_{\text{sum}} > 0.28 E_{\text{beam}}$; 4. 事例没有前冲性.

4 残余束流相关本底的扣除方案^[2,3]

在 R 值分析过程中,发现束流相关本底事例可被大大压低,但仍有少数分离束实验¹⁾数据通过了事例选择条件,如果把选择条件卡严一些,当然可进一步排除部分束流相关本底,但同时会丢掉更多的好事例,这显然是不合适的,也说明单纯通过事例选择对束流相关本底的压低是有限的. 因此,我们对于残余的束流相关本底,采用了两种不同的统计方案进一步加以扣除.

4.1 方案 I^[7]: f 因子方法

束流相关本底原则上应与束流流强、束流管内气体的真空度、取数时间有关. 一般说来,束流强度越大,气体的真空度越低,取数时间越长,束流相关本底就越多. 用流强与压强的乘积对时间的积分计算对撞束数据和分离束数据的比例因子 f :

$$f = \frac{\int_{\text{run}} P_{\text{run}} I_{\text{run}} dt}{\int_{\text{sep}} P_{\text{sep}} I_{\text{sep}} dt} \quad (1)$$

若从分离束数据选出的强子事例数为 N_{sep} , 则对撞束数据中相应的束流相关本底事例数目 N_{bg} 为:

$$N_{\text{bg}} = f \cdot N_{\text{sep}} \quad (2)$$

方案 I 可以有效地扣除束流相关本底,但是某些能量点的统计量太低,使得 f 因子的统计误差很大,降低了 f 因子的可靠性. 此外,由于对撞束的流强、真空对时间的积分值一般要比分离束的大几倍,导致分离束事例数的误差将成倍地折合到强子事例总数的误差中去,使得强子总数的误差较大.

4.2 方案 II: 事例顶点 z 分布方法

强子事例原则上应该有确定的事例顶点即对撞点. 顶点的位置分辨与束团的形状有关, BEPC 的束团形状呈扁椭球形,其典型尺寸为:椭圆截面短轴 y 方向 $0.1\text{--}0.3\text{mm}$, 长轴 x 方向 $2\text{--}3\text{mm}$, 束团长度 z 方向 $5\text{--}7\text{cm}$. 可见顶点在 $r\text{-}\phi$ 平面内分辨相当好,可在此平面内设置较严的限制条件,将大部分束流相关本底予以拒绝. 因此我们可以拟合事例顶

1) 分离束实验用于本底研究,分离束是指在对撞点两端的静电分离器上加上电压,使正负电子束在电场的作用下分离一定距离(一般为 2mm)而不能对撞. 在分离束实验中记录的事例一般是宇宙线事例、束流相关本底事例和噪声.

点的 z 分布来获得强子事例数. 对撞事例顶点的 z 向分布原则上是一个 Gauss 分布, 其中心值大约在 0 附近. 束流相关本底事例顶点的位置在 z 方向大致均匀分布, 其分布可用二次多项式来描述, 其中事例的顶点位置是所有好径迹 ($MFIT = 2$) 顶点的 z 坐标的平均值. 拟合的强子事例数为 Gauss 函数下所包含的面积. 图 5 是 $E_{cm} = 2.6\text{GeV}$ 的拟合情况. 利用方案 II, 我们给出残余的束流相关本底在强子样本中的比例, 其范围在 3%—10%

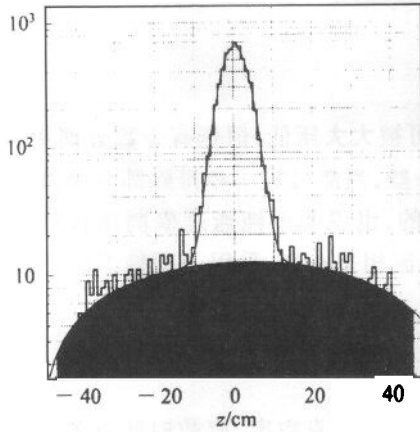


图 5 强子样本 z 分布的拟合
 $E_{cm} = 2.6\text{GeV}$.

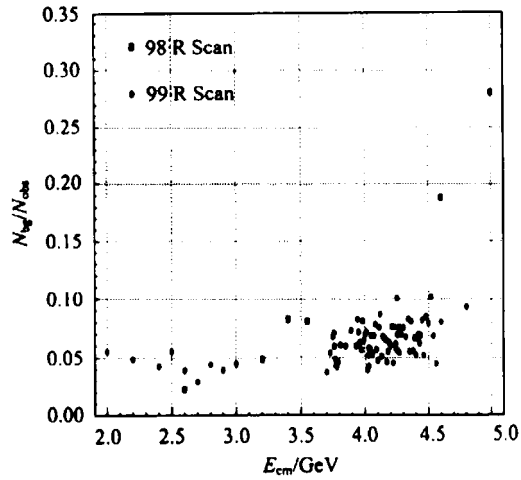


图 6 残余的束流相关本底在强子样本中的比例

之间(图 6). 随质心系能量的提高, 比例值也相应变大. 其原因在于: 束流的质量随能量的提高而变差.

方案 II 适用于统计量比较大的能量点. 对小样本的能量点, 由于统计量太小, 导致拟合的误差较大. 当用一次多项式或三次多项式加 Gauss 函数拟合事例顶点的 z 分布, R 值的差别仅为 1%, 并归结为系统误差.

4.3 方案 I 和 II 的比较

通过方案 I, 得到扣除束流相关本底后的强子事例候选者的数目 N_{had}^{candi} ; 通过方案 II 得到的数目 N_{had}^{corr} . 从表 1 可以看出, 方案 I 和 II 差别为 2.3%—4.2%, 总的说来, 方案 II 得到的 N_{had}^{corr} 比方案 I 的值要小. 由方案 I 和 II 得到的 R 值的差别为 0.3%—2.3%. 由于对撞束和分离束的运行状态不同, 导致本底率不同. 致使 f 因子方法得出的束流相关本底数目系统偏小(表 1). 在 R99 数据中, 只有少数能量点才有分离束数据, 其统计量也比较小. 因此方案 II 用于讨论束流相关本底数目^[3].

表 1 方案 I 和 II 的比较 (R98 数据)

E_{cm}/GeV	N_{had}^{obs}	N_{sep}	f	N_{had}^{candi}	N_{had}^{corr}	diff.
2.60	5617	8	15.82	5490.4	5257.4	-4.2%
3.20	2051	10	9.98	1951.2	1906.6	-2.3%
3.40	2149	46	3.86	1971.4	1905.7	-3.3%
3.55	2672	50	4.31	2456.5	2381.4	-3.1%

5 结论

在 R 值分析中,束流相关本底是强子样本的主要本底来源. 如何有效地扣除束流相关本底是强子样本选择中的重要部分. 利用 R 值扫描数据,我们讨论了束流相关本底事例的事例特征,并利用 f 因子方法和拟合强子事例顶点 z 分布的方法讨论残余束流相关本底. 讨论结果表明,由两种方案得到的 R 值的差别为 0.3%—2.3%,在误差范围内,两种方法得到 R 值是一致的.

感谢电子学室、加速器中心和运行车间全体人员在 R 值取数期间的大力协作和支持. 也感谢陈江川、胡海明、祁向荣、李金、薛生田、周莉等同志对本工作提出有益建议.

参考文献 (References)

- 1 BAI J Z et al (BES collab.). Nucl. Instr. Meth., 1994, **A344**:319; 2001, **A458**:627; DING Hui-Liang et al. HEP & NP, 1992, **16**:769 (in Chinese)
(丁慧良等. 高能物理与核物理, 1992, **16**:769)
- 2 BAI J Z et al (BES Collab.). Phys. Rev. Lett., 2000, **84**:594
- 3 BAI J Z et al (BES Collab.). Phys. Rev. Lett., 2002, **88**:101802
- 4 ZHANG L S et al. BES Internal Memorandum, 2000.
- 5 MENG X C, Nuclear Electronics & Detection Technology, 1996, **16**:388
- 6 MENG X C, Nuclear Electronics & Detection Technology, 1997, **17**:478
- 7 Edwards C et al (Crystal Ball Collab.). SLAC-PUB-5160, 1990

Subtraction of Beam-Associated Background in R Measurement

YAN Wen-Biao¹ CAI Xiao¹ CHI Shao-Peng¹ DAI Yu-Mei² HUANG Guang-Shun¹
LI Hui-Hong³ WANG Zhi-Yong⁴ ZHANG Lei¹ ZHANG Liang-Sheng¹
ZHAO Zheng-Guo¹

1 (Institute of High Energy Physics, CAS, Beijing 100039, China)

2 (Department of Physics, Liaonin University, Shenyang 110036, China)

3 (Institute of Particle Physics, Huazhong Normal University, Wuhan 430079, China)

4 (China Center of Advanced Science and Technology, Beijing 100080, China)

Abstract Using R scan data collected at BES II detector, we study the character of beam-associated background. We use the method of f factor and the fitting of event vertices to subtract the residual beam-associated background. The difference between the R values obtained by using these two methods is between 0.3% and 2.3%.

Key words R measurement, hadron event, beam-associated background, BES II detector

Received 22 January 2002

* Supported by National Natural Science Foundation of China (19991480, 19805009), The Chinese Academy of Science Foundation (KJ95T-03) and National Outstanding Young Scientist Foundation (19825116)