

# 400 GeV/c pp 碰撞半单举带电粒子 赝快度分布测量\*

王韶舜 张杰 叶云秀 肖臣国

成正东 张学谦 罗棋

(中国科学技术大学近代物理系, 合肥 230026)

## 摘 要

利用 CERN NA27 合作组提供的 LEBC 泡室照片, 测量了 400 GeV/c pp 碰撞产生的带电粒子多重数为 8—12 的赝快度分布, 并用结团模型分析了在固定总多重数时质心系前向半球的多重数分布。结果表明结团的平均大小与是否考虑领头粒子效应有关。

## 一、引 言

大量的强子碰撞实验结果表明, 一个多重产生事例可以看成是先形成若干结团, 然后这些结团衰变成末态粒子。人们通过分析单举和半单举的实验数据, 试图说明结团的产生机制和性质。然而至今问题并没有完全搞清楚。有些实验表明存在两种类型的结团<sup>[1]</sup>, 一种平均带电粒子数较少, 衰变宽度较窄; 另一种平均带电粒子数较多, 衰变宽度较宽。另一些实验表明结团只有一种, 即每个结团平均衰变为两个带电粒子, 结团的平均大小几乎不随能量而变化<sup>[2,3]</sup>。但 S.L.Lim 等人<sup>[4]</sup>的理论分析表明, 结团的平均大小是随能量的增加而增加的。过去许多作者认为结团可能就是低质量共振态粒子如  $\rho$ 、 $\omega$ 、 $K^*$ ... 但是许多实验和理论分析表明, 结团并不等同于低质量共振态粒子。此外在  $e^+e^-$  对撞实验中, 也观察到短程关联现象, 可是有些实验<sup>[5,6]</sup> 没有观察到长程关联现象或者这种关联较弱, 而快度间隔分布表明, 似乎末态粒子是独立发射的或者结团的平均大小为 1。上述情况说明更多的实验数据和理论分析是需要的。

我们在 400 GeV/c pp 碰撞产生的带电粒子多重数分布实验工作的基础上测量了半单举事例的赝快度分布, 并用结团模型分析了在固定多重数条件下前向半球的多重数分布, 得出了结团的平均大小与是否考虑领头粒子效应有关。

## 二、赝快度分布的测量

利用 CERN NA27 合作组提供的 LEBC 泡室照片, 对 400 GeV/c pp 碰撞产生的带

本文 1991 年 1 月 28 日收到。

\* 国家自然科学基金资助的课题。

电粒子多重数为 8—12 的 1124 个事例进行了空间几何的重建。高分辨 LEBC 泡室的空间接受角为  $4\pi$ , 汽泡直径为  $17\mu\text{m}$ , 汽泡密度为  $80\text{cm}^{-1}$ , 有效室体积沿束流方向有 12cm 长。由于无磁场, 径迹为直线, 图象清晰, 有利于反应产物角分布的精确测量。

NA27 实验组提供了事例作用顶点空间坐标的重建程序, 我们利用它来重建每一条径迹的空间方向。事例作用顶点提供直线上的一点。对于出射粒子的径迹, 另一个点的坐标离作用顶点应尽可能远。对于入射粒子径迹, 采用多点测量来确定入射径迹的方向。当入射径迹较短时, 测量平行的未发生作用的入射粒子径迹方向作为事例入射径迹方向, 以提高角度测量的精度。事例空间几何重建后按以下公式:

$$\eta_L = -\ln \operatorname{tg} \frac{\theta_L}{2} \quad (1)$$

计算实验室系的带电粒子赝快度  $\eta_L$ 。式中  $\theta_L$  是实验室系出射粒子与入射粒子之间的夹角。由此得到实验室系半单举带电粒子赝快度分布如图 1(a) 所示。为求得质心系赝快度分布, 需按公式

$$\operatorname{tg} \theta_C = \frac{\operatorname{tg} \theta_L}{\gamma_C \left( 1 - \frac{\beta_C}{\beta \cos \theta_L} \right)} \quad (2)$$

求出  $\theta_C$ , 然后按定义

$$\eta_C = -\ln \operatorname{tg} \frac{\theta_C}{2} \quad (3)$$

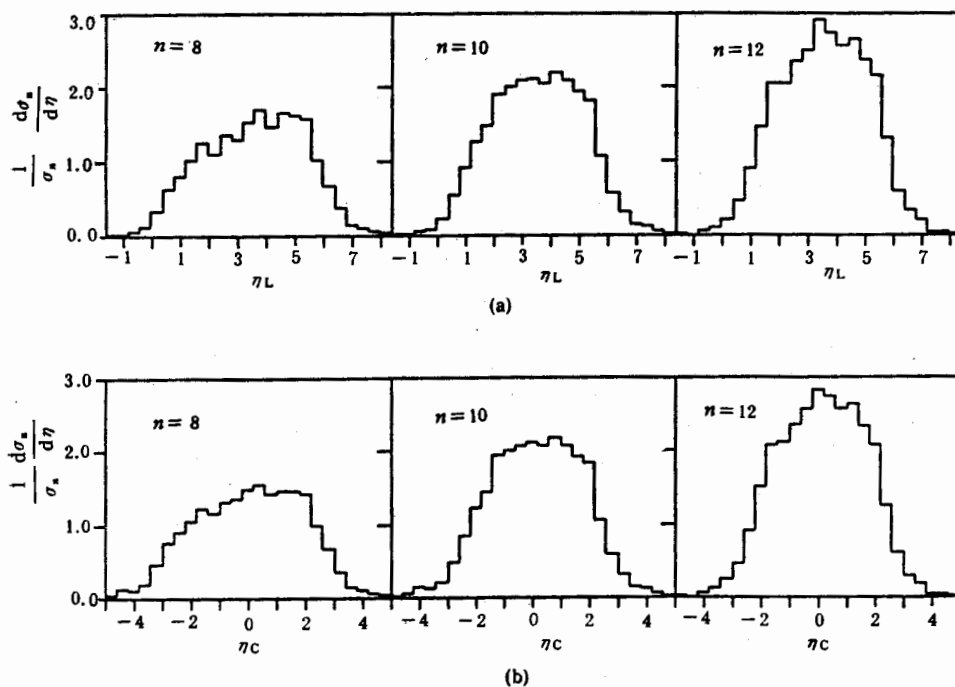


图1 固定多重数时的赝快度分布

(a) 实验室系 (b) 质心系

求出  $\eta_c$ . 上式中  $\beta_c$  是质心的运动速度,  $\gamma_c = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta_c^2}}$ , 对于 400GeV/c pp 碰撞,  $\gamma_c =$

14.627. 为此需要知道粒子的速度  $\beta$ . 由测量径迹的汽泡密度按以下公式:

$$\beta^2 = \frac{D_0}{D} \beta_0^2 \quad (4)$$

可得  $\beta$  的近似值<sup>[7,8]</sup>, 其中  $D_0$  和  $D$  分别为入射质子和出射粒子径迹的汽泡密度,  $\beta_0$  为入射质子的速度, 对于 400GeV/c 的质子,  $\beta_0 = 1$ .

绝大部分粒子径迹的汽泡密度与入射质子径迹的汽泡密度在统计误差范围内是相同的, 这时认为  $\beta = 1$  是很好的近似, 可以按公式(2)和(3)求出  $\eta_c$ , 也可以用以下公式<sup>[9]</sup>:

$$\eta_c = \eta_L - \ln(\gamma_c + \sqrt{1 + \gamma_c^2}) \quad (5)$$

求出  $\eta_c$ , 两者的近似程度是一致的. 最后得到的质心系半单举横快度分布如图 1(b) 所示.

由图可见快度平台区的宽度随多重数的增加而变小, 这与其它能量的实验结果和理论模型的预言是一致的<sup>[10]</sup>.

### 三、前半球多重数分布与结团的平均大小

从分析前后关联的实验数据出发, Chou 和 Yang<sup>[11]</sup> 认为带电粒子多重数分布分为随机的和非随机的两方面, 即带电粒子前后不对称性  $z = n_F - n_B$  遵循二项式分布, 同时总的带电粒子数  $n = n_F + n_B$  遵循 KNO 标度. S.L.Lim 等人在此基础上作了推广, 他们从结团模型出发, 认为结团在前后半球遵循二项式分布, 每个结团平均衰变为  $r$  个带电粒子, 忽略前后两半球之间的泄漏效应, 对于多重数为  $n$ , 前后半球粒子数分别为  $n_F$  和  $n_B$  ( $n = n_F + n_B$ ) 的几率  $P_n(r, n_F)$  为:

$$P_n(r, n_F) = P(n) C_{n_F/r}^{n/r} \left[ B\left(\frac{n}{r}\right) \right]^{-1}, \quad (6)$$

其中  $P(n)$  是描述带电粒子多重数分布的负二项式分布,  $C_{n_F/r}^{n/r}$  是结团在前后半球分布所遵循的二项式分布,  $\left[ B\left(\frac{n}{r}\right) \right]^{-1}$  是归一化因子, 即

$$B\left(\frac{n}{r}\right) = \sum_{n_F=0}^n C_{n_F/r}^{n/r}. \quad (7)$$

对于固定多重数情况,  $P(n)$  为常数, 因此对于前半球粒子几率分布可以用以下函数来拟合, 即

$$P_n(r, n_F) = C_{n_F/r}^{n/r} / B\left(\frac{n}{r}\right). \quad (8)$$

图 2(a) 中带误差棒的点为实验结果, 实线是按上述公式由最小  $\chi^2$  法求得的最佳  $r$  值时的拟合曲线. 图中也画出了  $r = 1$  和 2 时的拟合曲线, 分别用点线和虚线来表示.

由于在 pp 碰撞中领头粒子效应起着重要的作用<sup>[12]</sup>, 特别是多重数较低时, 领头粒子

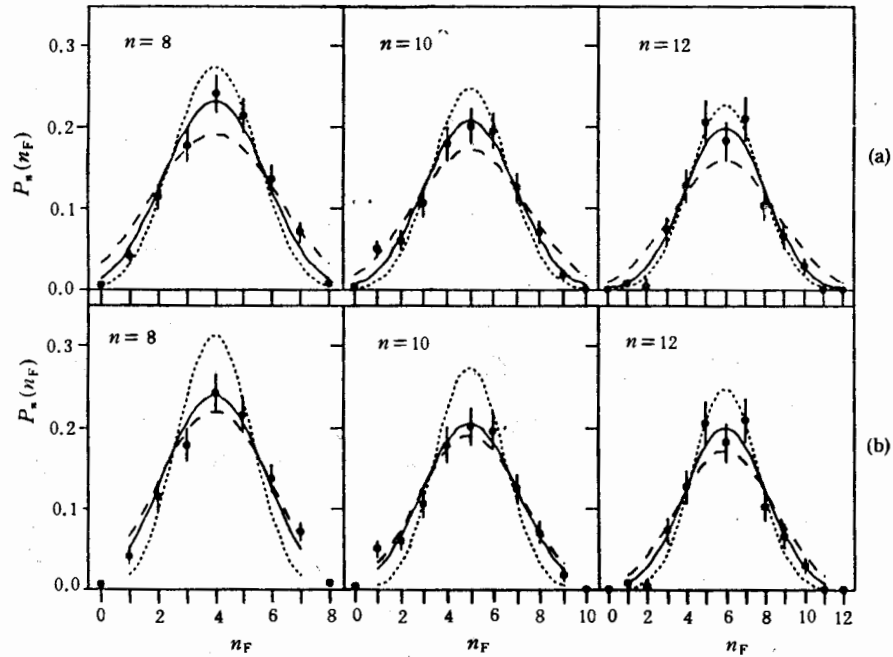


图2 固定多重数时前半球粒子数  $n_F$  的几率分布

(a) 领头粒子包括在内时的拟合曲线; (b) 领头粒子除外时的拟合曲线

实线为  $r$  等于最佳值时的拟合曲线; 虚线为  $r=2$  时的拟合曲线, 点线为  $r=1$  时的拟合曲线

所占的比重较大。考虑领头粒子效应后, 假定在前后半球总是各有一个末态粒子, 其余的末态粒子则按结团平均大小  $r$  作二项式分布, 因此上述拟合公式应改为:

$$P_n(r, n_F) = C_{\binom{n-2}{n_F-1}/r} \left/ \sum_{n_F=1}^{n-1} C_{\binom{n-2}{n_F-1}/r} \right. \quad (9)$$

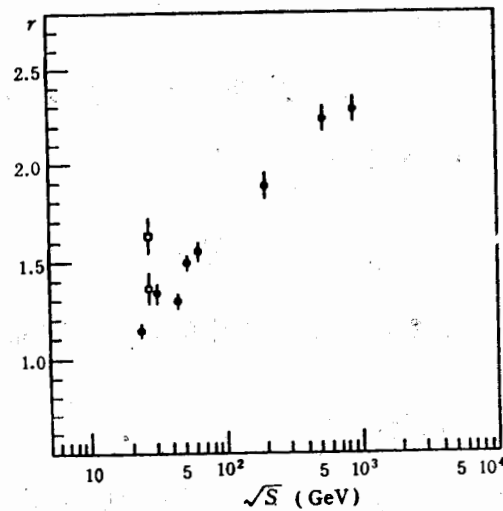


图3 结团平均大小随质心系能量变化图

● S. L. Lim 等人计算的结果; ○ 本实验(包括领头粒子)的结果; □ 本实验(去掉领头粒子)的结果

由此求得的拟合曲线示于图 2(b) 中。

由最小  $\chi^2$  法求得的结团平均大小列于表 1, 表中也列出由三个多重数求平均而得到的结团平均大小。当领头粒子包括在内时求得的结团平均大小与 S. L. Lim 等人计算的结果是一致的(见图 3)。但是去掉领头粒子后求得的结团平均大小显著偏大。

表 1 由最小  $\chi^2$  法求得的结团平均大小

多重数 $n$	领头粒子包括在内		领头粒子除外	
	$r$	$\chi^2/NDF$	$r$	$\chi^2/NDF$
8	$1.38 \pm 0.13$	0.94	$1.67 \pm 0.12$	0.93
	1.00	2.78	1.00	7.36
	2.00	3.35	2.00	1.76
10	$1.40 \pm 0.09$	0.85	$1.73 \pm 0.10$	0.86
	1.00	2.65	1.00	5.18
	2.00	2.56	2.00	1.42
12	$1.29 \pm 0.15$	1.07	$1.50 \pm 0.15$	1.14
	1.00	1.26	1.00	1.83
	2.00	3.53	2.00	1.94
平均	$1.36 \pm 0.09$		$1.63 \pm 0.09$	

## 四、讨 论

实验结果表明, 能量低时领头粒子效应在决定结团的平均大小时起着重要的作用。如果不区分领头粒子, 则求得的结团平均大小在能量低时显著偏小。随着质心系能量的增加, 带电粒子平均多重数也增加, 领头粒子效应相对地变得不重要。区分领头粒子后, 与 ISR 最高能量以下的实验结果相比<sup>[13]</sup>, 求得的结团平均大小随能量变化不大, 但是到了 pp 对撞机能区以后( $\sqrt{s} \geq 200\text{GeV}$ ), 结团平均大小随能量的升高有较明显的增大。

我们对 A. MICHALON 教授提供 LEBC 泡室照片事例的几何重建程序深表感谢。

## 参 考 文 献

- [1] W. Bell et al., *Z. Phys. C-Particles and Fields*, **32**(1986), 335.
- [2] R. E. Ansorge et al., *Z. Phys. C-Particles and Fields*, **37**(1988), 191.
- [3] G. J. Alner et al., *Phys. Rep.*, **154**(1987), 250.
- [4] S. L. Lim et al., *Z. Phys. C-Particles and Fields*, **43**(1989), 621.
- [5] M. Derrick et al., *Phys. Rev.*, **D34**(1986), 3304.
- [6] W. Braunschweig et al., *Z. Phys. C-Particles and Fields*, **45**(1989), 193.
- [7] M. Jobses and H. R. Shaylor, *Rep. Prog. Phys.*, **35**(1972), 1077.
- [8] G. P. Yost et al., *Phys. Lett.*, **B204**(1988), 69.
- [9] G. Baroni et al., *Nucl. Phys.*, **B135**(1978), 405.
- [10] Cai Xu et al., *Phys. Rev.*, **D29**(1984), 869.
- [11] T. T. Chou and C. N. Yang, *Phys. Lett.*, **B135**(1984), 175; **B167**(1986), 453.
- [12] Minoru Biyajima et al., *Phys. Rev.*, **D39**(1989), 203.
- [13] D. Drijard et al., *Nucl. Phys.*, **B155**(1979), 269.

## Measurement of Semi-Inclusive Charged Particle Pseudorapidity Distributions in pp Collisions at 400GeV/c

WANG SHAOSHUN    ZHANG JIE    YE YUNXIU    XIAO CHENGUO    CHENG ZHENGDONG  
ZHANG XUEQIAN    LUO QI

*(Department of Modern Physics, University of Science and Technology of China, Hefei 230026)*

### ABSTRACT

The pseudorapidity distributions for charged particle multiplicity 8—12 produced in pp collisions at 400GeV/c have been measured by using the LEBC films which were offered by CERN NA27 Collaboration.

The CMS forward hemisphere multiplicity distributions at fixed total multiplicities have been analysed by using cluster model. The results show that the average cluster size is relating to whether the leading-particle effect is taken into account.