

# 强子相互作用中次级粒子纵向动量 对多重数的依赖

经才骝 丁林堃

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

1993年6月24日收到

## 摘 要

在  $\sqrt{s} = 540\text{GeV}$  时, 用一个完整的 Chou-Yang 模型 Monte-Carlo 产生器, 去描写  $p\bar{p}$  碰撞非衍射过程的多粒子产生, 定量地研究了次级粒子纵向动量对粒子多重数的依赖. 结果表明, 随着多重数减小, 次级粒子平均纵动量变大,  $x$  分布变平.

**关键词** 强子相互作用, 纵向动量, 多重数, Monte-Carlo 模拟, 非单衍射过程.

## 1 引 言

在超高能宇宙线级联现象的实验观测中, 发现级联的纵向发展存在快速衰减现象<sup>[1]</sup>. 这种现象可能联系于许多因素<sup>[2]</sup>, 例如, 初级宇宙线成分, 强子非弹作用截面, 非弹性度, 衍射过程, 非衍射过程的碎裂区行为以及靶核效应等等. 为着尽可能不带任何先验观点, 仔细分析每个因素在快速衰减现象中所起的作用, 从而正确地决定导致快速衰减的物理起因, 构筑尽可能准确和详尽的强子和核作用模型是十分必要的. 这个模型在加速器能区应尽可能全面和正确地重现现有加速器实验给出的各种结果, 并又能容易地外推到更高能量, 即超高能宇宙线实验所达到的能区. 工作[3]指出, 衍射过程具有小多重数, 对研究快速衰减的起因十分重要; 除此之外, 非衍射过程的小多重数事例, 也具有类似的重要性. 因此, 研究非衍射强子作用中次级粒子的纵向动量对多重数的依赖就显得十分必要. 至今, 加速器实验并未报道不同多重数事例的纵向动量的测量结果, 许多作者在他们的 Monte-Carlo 模型中, 都是假定小多重数事例和大多重数事例具有相同的纵动量分布(或相同的 Feynman 变量  $x$  分布). 本工作的目的是利用 Sp $\bar{p}$ S 给出的数据, 用 Chou-Yang 几何模型来构筑一个 Monte-Carlo 产生器, 以定量地研究纵向动量对多重数的依赖.

在第2节, 将介绍在 Chou-Yang 模型<sup>[4]</sup>基础上所建造的一个描写强子碰撞非衍射过程的 Monte-Carlo 产生器. 要求这一产生器能够描写已经报道的有关分布, 特别是不同多重数的赝快度分布. 模拟结果与实验数据的比较也将在第2节叙述. 然后, 用这个产

生器来计算不同多重数的纵动量分布,结果见第3节,第4节是结果和讨论。

## 2 Monte-Carlo 产生器

Chou-Yang 关于高能强子作用的多粒子产生的基本思想是:一定的碰撞参数  $b$ , 联系于一定的次级粒子多重数,此时强子作用的多粒子产生过程是随机的,即在每一边(前向或后向)的粒子数分布是随机的;每一边粒子的能量分配也是随机的。而实验上观测到的多重数分布(近似的 KNO 或负二项式分布),则是不同碰撞参量下碰撞的非随机叠加。它只联系于两碰撞强子的几何性质,即强子的外形函数和两强子的碰撞参量。再考虑到能量守恒、leading 粒子效应、横动量切割因子、相空间分布  $d^3p/E$  等必须满足的条件,利用统计力学方法,推导出非衍射过程中非 leading 粒子的单粒子单举分布为:

$$E \frac{d^3n}{dp^3} = K e^{-\alpha p_T} e^{-E/T_P}, \quad (1)$$

式中  $\alpha$  是与平均横动量有关的一个参量,  $T_P$  为配分温度,是与能量分配有关的参量,它将控制每一边(前向或后向)粒子的能量的随机分配。它是本模型的最重要的一个参数,是模型基本思想的一个自然结果。 $K$  是归一化常数。工作[4]还证明,适当选取  $\alpha$ 、 $T_P$ 、 $K$ , 不同多重数间隔的赝快度分布能够得到很好的描写。

工作[5]利用这一模型建造了  $\sqrt{s} = 540\text{GeV}$  的 Monte-Carlo 产生器,引进随多重数间隔而改变的  $\alpha$ ,证明模型能够描写较多的实验分布。

本工作更完整地按照几何模型的图象来建立产生器。即认为:强子碰撞的多重数分布(近似的 KNO 分布)联系于碰撞参数  $b$  的分布。当两强子相碰撞时,对  $b$  作随机取样,从而确定一个多重数  $Z(=n/\langle n \rangle)$ 。根据实验给出的不同多重数间隔的赝快度分布,建立  $K$ 、 $\alpha$ 、 $T_P$  与  $Z$  的关系,然后根据(1)式,推导出次级粒子的纵动量和横动量分布如下:

$$\frac{dn}{dp_{\parallel}} = 2\pi K \int_0^{P_{T\max}} P_T e^{-\alpha P_T} \frac{e^{-E/T_P}}{E} dP_T; \quad (2)$$

$$\left. \frac{d^2n}{dP_{\parallel} dP_T} \right|_{P_{\parallel}=P_{\parallel}^0} \propto 2\pi K P_T e^{-\alpha P_T} \frac{e^{-E/T_P}}{E} \Big|_{P_{\parallel}=P_{\parallel}^0}. \quad (3)$$

利用(2)、(3)式取样  $P_{\parallel}$  和  $P_T$ 。取样中保持近似的能量动量守恒。不同多重数间隔的  $\alpha$ 、 $T_P$ 、 $K$  值见表1。当  $z$  取不同于节点的任意值,采用插值法求出相应的参量值。

用本产生器取样 300 000 例,所得平均带电多重数为 29.1,  $\eta < 5$  的平均横动量为

表1  $\sqrt{s} = 540\text{GeV}$  时, CY 模型的参数值

$n$	>71	51—70	41—50	31—40	21—30	11—20	<11
$\alpha$	4.08	4.27	4.49	4.80	5.10	5.42	5.71
$T_P$	5.0	6.4	7.0	8.3	9.4	17.0	65.0
$K$	58.0	40.0	32.4	26.2	22.0	14.0	6.1

0.38 GeV/c. 图 1 是多重数分布以及与实验<sup>[6]</sup>的比较. 在图 2 中画出了所有事例的  $\eta$  分布. 对不同多重数间隔, 将所有事例划分为七个组, 即  $n \geq 71, n = 51-70, 41-50, 31-40, 21-30, 11-20$  和  $n < 11$ . 它们的  $\eta$  分布示于图 3, 并与实验数据相比较. 图 4 是不同快度窗口内的多重数分布. 从这几个图可以看出, 这个产生器可以给出符合实验的分布. 另外, 还作了前后向多重数关联以及多重数各级

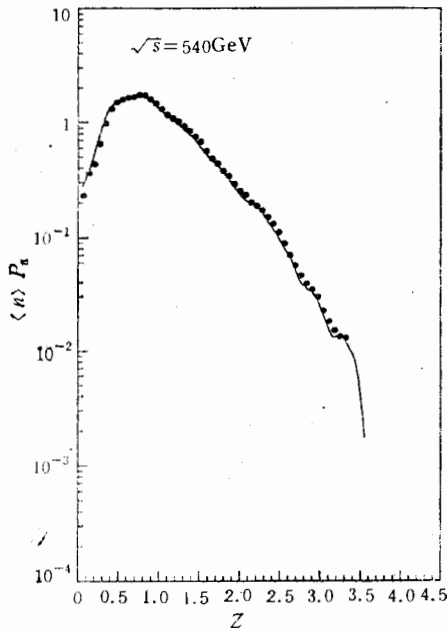


图 1 带电粒子多重数分布  
曲线为 Monte-Carlo 结果, 数据点取自[6].

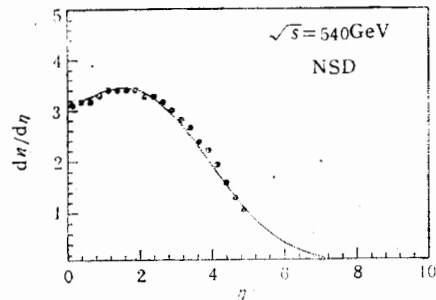


图 2 非单衍事例的  $\eta$  分布  
曲线为 Monte-Carlo 结果, 数据点取自[7].

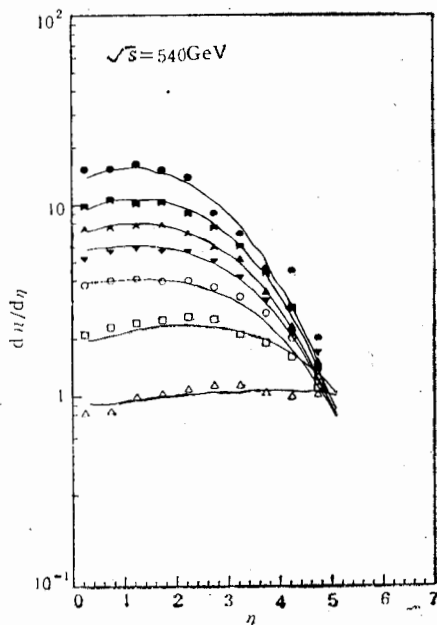


图 3 不同多重数间隔的  $\eta$  分布  
曲线为 Monte-Carlo 结果, 数据点取自[6].  
●  $n > 71$ , ■  $n = 51-70$ , ▲  $n = 41-50$ , ▼  $n = 31-40$ ,  
○  $n = 21-30$ , □  $n = 11-20$ , △  $n < 11$ .

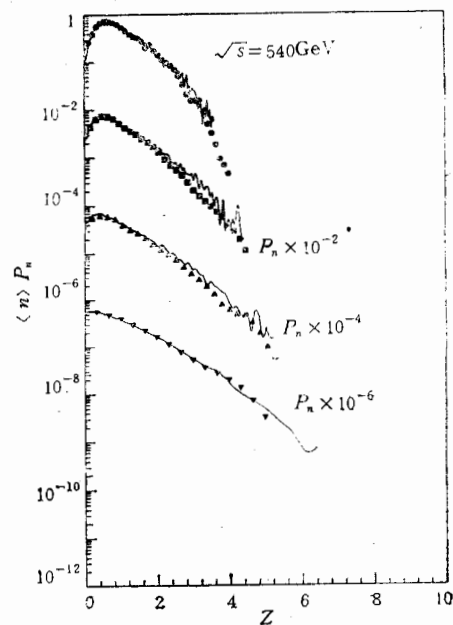


图 4 不同快度间隔下的多重数分布  
曲线为 Monte-Carlo 结果, 数据点取自[8].  
●  $|\eta| < 5.0$ , ■  $|\eta| < 3.0$ , ▲  $|\eta| < 1.5$ ,  
▼  $|\eta| < 0.5$ .

矩分布,都与实验符合得较好,不一一画出。因此,本产生器是一个好的 Monte-Carlo 产生器。

### 3 不同多重数的 $x$ 分布

用这个产生器作出的不同多重数间隔  $n \geq 71, n = 51-70, 41-50, 31-40, 21-30,$

表2  $\sqrt{s} = 540\text{GeV}$  时,不同多重数间隔的 Feynman 变量  
平均值  $\langle x \rangle$  和平均纵动量  $\langle P_{||} \rangle (\text{GeV}/c)$

$n$	$\geq 71$	51-70	41-50	31-40	21-30	11-20	$< 11$
$\langle x \rangle$	0.0069	0.0080	0.0087	0.0094	0.0111	0.0217	0.0728
$\langle P_{  } \rangle$	1.85	2.15	2.33	2.54	3.00	5.87	19.66

11-20 和  $n < 11$  的纵动量分布画于图5。可以看出,随着多重数下降(升高),  $x$  分布变平(变陡)的趋势是明显的。不同多重数间隔的平均纵动量和平均 Feynman 变量  $x$  列于表2。

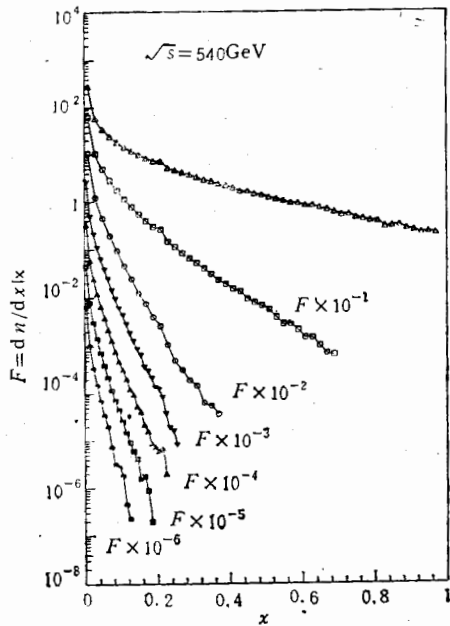


图5 不同多重数间隔下的  $x$  分布

●  $n > 71$ , ■  $n = 51-70$ , ▲  $n = 41-50$ , ▼  $n = 31-40$ , ○  $n = 21-30$ , □  $n = 11-20$ , △  $n < 11$ 。

常用的取平均  $x$  分布描写所有事例的作法,低估了小多重数事例在超高能级联传播中的作用,将影响对级联快速衰减原因的分析。因此,在研究级联纵向发展的快速衰减的原因时,必须对非衍射过程中的小多重数事例予以足够的重视。

从强子的 Parton 结构图象和 QCD 的观点来看,高多重数和大横动量的关联被解释为大横动量喷注的产生。大横动量喷注事例联系于较高多重数,并使得事例的平均横

### 4 结论和讨论

在 Chou-Yang 几何模型图像的基础上,构筑了一个由碰撞参量决定多重产生行为(或决定 Chou-Yang 模型参量)的 Monte-Carlo 产生器。利用这个产生器,许多实验分布得到了很好的描写。它所给出的不同多重数事例的  $x$  分布,说明多重数越高(低),次级粒子的平均纵动量越小(大), $x$  分布越陡(平)。尤其是在  $n < 11$  这个间隔, $x$  分布除了接近于  $x = 0$  的区域,分布曲线(在对数坐标下)几乎与  $x$  轴平行,次级粒子具有很高的平均能量。

这个产生器与其它产生器不同,引进了小多重数事例  $x$  分布较硬的性质,进一步外推到超高能,将对超高能级联进行更符合实际情况的描写。

动量上升。同样地,当着大横动量喷注产生时,由于喷注中粒子的纵动量较低,导致整个事例的平均纵动量下降。因此,高多重数事例伴随较高的平均横动量和较低的平均纵动量的特征,在用 Chou-Yang 模型分析高能多重产生的过程中也可以看到。这两种现象可能存在着内在的联系。

作者感谢与朱清棋的有益的讨论,也感谢高能物理所三室 VAX 机组在计算中给予的大力支持和帮助。

### 参 考 文 献

- [1] T. Yuda, 22th International Cosmic Ray Conference, Dublin, 5(1991)315; J.R. Ren, *Phys. Rev.*, **D38**(1988)1404, 1407, 1426.
- [2] Q.Q. Zhu et al., *J.Phys. G: Nucl. Part. Phys.*, **16**(1990)295.
- [3] L.K. Ding, Proc. 7th International Symposium on Very High Energy Cosmic Ray Interactions, (Ann Arbor, 1992), to be published.
- [4] T.T. Chou et al., *Phys. Rev. Lett.*, **54**(1985)510; *Phys. Lett.*, **135B**(1984)175; *Phys. Rev.*, **D32**(1985)1692.
- [5] 丁林堽等,高能物理与核物理,**12**(1988)731.
- [6] G. Rushbrooke, in Proceedings of the 14th International Symposium on Multiparticle Dynamics, Lake Tahoe, 1983, edited by P.M. Yager and J.F. Gunion (World Scientific, Singapore, (1984).
- [7] G.J. Alner et al., UA5-Collab., *ZPC*, **33**(1986)1.
- [8] G.J. Alner et al., UA5-Collab, *PLB*, **160**(1985)193.

## A Dependence of Longitudinal Momenta of Secondary Particles on Multiplicity in Hadronic Interactions

Jing Cailiu Ding Linkai

(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica, Beijing 100039)

Received on June 24, 1993

### Abstract

The dependence of longitudinal momenta of secondary charged particles produced in non-diffractive processes of  $p\bar{p}$  collisions on the multiplicity at  $\sqrt{s} = 540\text{GeV}$  has been analyzed by using a Monte-Carlo generator of full Chou-Yang geometrical model. The results show that the average longitudinal momentum of secondary particles becomes larger and their  $x$ -distribution flatter when the multiplicity of secondary particles decreases.

**Key words** hadronic interaction, longitudinal momentum, multiplicity, Monte-Carlo simulation, non-diffractive process.