

部分子末态的色分离联接对 e^+e^- 反应中 强子产额及其动量谱的影响*

邵凤兰 谢去病

(山东大学物理系 济南 250100)

摘要 用 JETSET 事例产生器对 $e^+e^- \rightarrow q\bar{q} + ng \rightarrow \text{hadrons}$ 反应中,末态部分子 ($q\bar{q} + ng$) 以色分离的联接方式进行强子化时,各种强子产额及 $\pi^+, K^+, p/\bar{p}$ 的动量谱进行了计算;与传统的色中性流联接方式强子化结果进行比较. 结果表明:由 T 权重确定的色分离单态和色中性流这两种完全不同的色联接方式强子化得到的强子产额及 $\pi^+, K^+, p/\bar{p}$ 的动量谱,与实验符合的程度相同,有些更好.

关键词 部分子组态 色分离单态 强子化 色联接

1 引言

高能过程 $e^+e^- \rightarrow \gamma^*/Z^0 \rightarrow q\bar{q} \rightarrow h's$ 可以分为 4 个子过程,如图 1 所示.

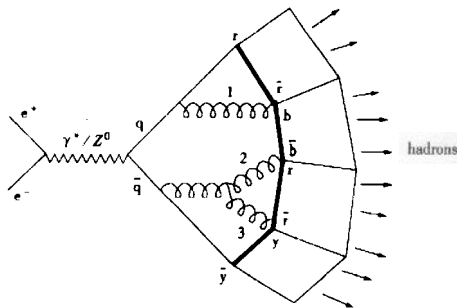


图 1 $e^+e^- \rightarrow \gamma^*/Z^0 \rightarrow q\bar{q} \rightarrow h's$ 过程的 4 个阶段示意图

1) 弱电过程. 即 e^+e^- 湮没为 γ^* 与 Z^0 , 然后 γ^* 与 Z^0 转变为一对初始夸克 $q\bar{q}$, 这一过程可以用弱电理论进行严格计算;

2) 部分子簇射过程 (Parton Shower). 即初始夸克 $q\bar{q}$ 辐射胶子, 以及胶子继续辐射胶子的过程. 原则上, 这一过程可以用微扰量子色动力学 (PQCD) 进行严格计算 (即矩阵元方法) 或用 Parton Shower 模型来描写;

3) 强子化过程. 在这一过程中, Parton Shower 结束后出现的末态部分子转化为直生强子. 这是一个非微扰 QCD 过程, 只能用某些

唯象模型来描写^[1];

4) 不稳定直生强子的衰变过程. 这一过程可以用实验测量的结果代入.

其中 Parton Shower 过程结束后的多部分子系统的色单态结构 (即所谓的预禁闭结

2000-11-20 收稿

* 国家自然科学基金资助

构)既作为前段 PQCD 过程的结果,又作为后面应用强子化模型的起点,是目前理论处理中联接 QCD 微扰相与非微扰相的界面与桥梁,起着关键作用.

对于 $e^+e^- \rightarrow q\bar{q} + ng$ 的多部分子末态,在大 N_c (颜色数目)近似下 ($N_c \rightarrow \infty$),只有一种可能的色单态链的联接方式,即传统色中性流模型;但对于 N_c 有限 ($N_c = 3$) 的现实世界,必须满足严格的 $SU_c(3)$ 对称,最近已证明,这时微扰相的多部分子末态有多种可能的色联接方式^[2,3]. 例如,既可能是色单态链的联接方式,又可以是色分离的联接方式等等. 究竟选择哪一种色联接方式强子化? 这是一个由非微扰 QCD 决定的问题,微扰 QCD 不能作出回答. 因此,对它的研究可为探索非微扰 QCD 的特征及其决定的强子化机制提供重要信息. 目前通用的事例产生器都选择大 N_c 近似下的色单态链的联接方式(即传统的色中性流模型)进行强子化,并能通过调整参数得到与强子末态的大部分实验符合. 这是否表明 $N_c = 3$ 允许的其它色联接方式不存在? 与色中性流模型联接明显不同的色分离联接方式导致的强子化结果将怎样? 对这些问题,可以通过在目前的事例产生器中改用色分离的联接方式进行强子化,比较选择不同的色联接方式进行强子化后,对事例的形状和性质造成的差别来研究.

文献[4]中,在严格的 $SU_c(3)$ 计算中,研究了色分离单态(CSS)的结构和几率,并用 JETSET 事例产生器对末态部分子采用色分离的联接方式强子化得到的事例的球度、冲度、非平面度等整体性质作了计算. 结果表明,事例的这些整体性质对色联接方式的选取并不敏感. 即:用 $N_c \rightarrow \infty$ 的色单态链的联接方式强子化得到的末态强子的整体性质与实验符合,用色分离的联接方式强子化也同样符合. 此结果并不意外,因为末态强子的动量分布主要取决于微扰末态部分子的动量分布,即所谓的“部分子-强子定域二重性”表现^[5],它决定了强子化末态事例的球度、冲度、非平面度等与动量有关的整体性质主要由强子化前部分子的动量分布确定,受色联接方式的影响很小. 因此,由色中性流模型强子化得到事例整体性质与实验符合,并不意味着强子化就选择了色中性流模型的色联接方式,因为按完全不同的色分离的联接方式进行强子化,得到的这些性质同样与实验符合. 本文的目的,是在这基础上进一步研究各种强子产额及其动量谱是否对色联接方式敏感.

2 Monte Carlo 计算方法

目前对高能反应强子产生机制的研究,主要借助事例产生器,利用 Monte Carlo 计算方法来研究. 在现有流行的 e^+e^- 反应事例产生器(如 JETSET 和 HERWIG)中,弱电过程和部分子簇射过程分别用弱电理论和微扰量子色动力学来描写,非微扰相的强子化过程则采用某些唯象模型(如 Lund 弦碎裂模型或 Webber 集团碎裂模型)来描写,联接 QCD 微扰相与非微扰相的界面则采用传统的色中性流模型给出 $N_c \rightarrow \infty$ 的唯一色联接方式. 因此,研究在现实的 $N_c = 3$ 时,PQCD 允许的何种色联接方式为强子化过程的起点,最简便实际的方法,是在 JETSET 事例产生器中,保留原有的弱电过程、部分子簇射过程及强子化过程的描写,只是在联接 QCD 微扰相与非微扰相的界面,用 $N_c = 3$ 的色分离联接方式代替 $N_c \rightarrow \infty$ 的色中性流的联接方式.

如引言中所述, $N_c = 3$, 多部分子末态色联接方式有多种复杂的可能. 以 $e^+e^- \rightarrow q\bar{q} + 3g$ 为例:

色单态链的联接方式(传统的色中性流模型)如图 2 所示, 色分离单态的联接方式如图 3 所示. 文献[4]中已证明, 对于一个部分子组态($q\bar{q} + ng$), Leading 贡献到 $O(1/N_c^2)$ 的色分离单态集只有两个子单态, 即两团:

$$(g_i g_{i+1} \cdots g_{i+j-1})(q g_1 \cdots g_{i-1} g_{i+j} \cdots g_n \bar{q})$$

一团为纯胶子组成的闭合胶子弦, 另一团为 $q\bar{q}$ 与剩下的胶子组成的开弦; 其中闭合胶子弦中胶子的排序是相邻的, 而开弦单态中包含的部分子, 其排序与色中性流模型中部分子的排序也相同; 这种相互色分离单态集叫 Leading 态. 其它相互色分离单态集则是更高阶压低. 对于部分子组态($q\bar{q} + ng$), 这种 Leading 色分离单态集的个数为

$$m = \frac{1}{2} n(n-1), \quad (1)$$

式中 n 为胶子个数. 例如部分子组态($q\bar{q} + 3g$), Leading 态只有图 3(a), (b), (c) 3 个, (d) 是非 Leading 态, 比 Leading 态的贡献小 $1/N_c^2$, 可先不考虑.

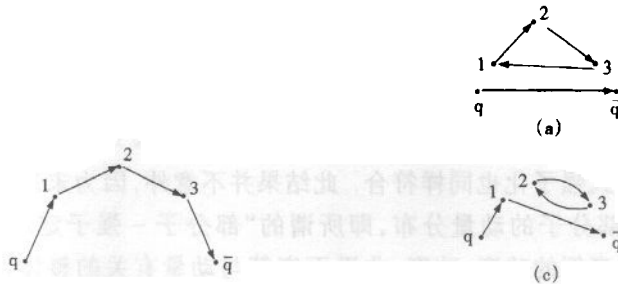


图 2 色单态链的联接方式

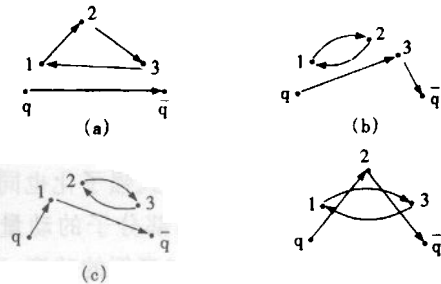


图 3 色分离单态的联接方式

微扰 QCD 阶段的结果给出, Leading 态均贡献到 $O(1/N_c^2)$, 但选择哪一个 Leading 态强子化也只能由非微扰 QCD 决定. 因此, 文献[4]提出一个可操作工作模型, 其主要内容如下:

- 1) 根据 PQCD 产生一个部分子组态. 用 JETSET 7.4 产生器的前半部分产生一个部分子组态($q\bar{q} + ng$);
- 2) 仅考虑那些 Leading 态的联接;
- 3) 试用两种权重(详见下文).

对于一个给定的部分子组态, 即使只考虑 Leading 态的联接也有很多可能, 强子化是从这许多可能的色分离单态联接中随机选取预禁闭结构, 还是非微扰 QCD 动力学偏爱其中一个? 这也是 PQCD 不能回答的问题; 于是我们取以下两种权重: 一是常数权重 (C-Weight) 也叫平均权重, 即每一个可能的色分离单态联接出现的几率相同. 如果只考虑颜色部分, 忽略相空间部分的影响, 这是一个很自然的选择. 另一个是 T (或 λ) 量度权重^[6], T 量度权重是由 Lund 面积律给出的一个动力学假定. 根据 Lund 面积律 $e^{-\lambda}$, 对包含多个胶子的 n 个部分子弦态

$$\lambda = \sum_{i=1}^{n-1} \ln(S_{i,i+1}/w_0^2), \quad (2)$$

式中 λ 为末态强子平均多重数量度, $S_{i,i+1} \equiv (k_i + k_{i+1})^2$, k_i 为第 i 个部分子的四动量, 由(2)式可以看出, λ 是红外发散的, (2)式给出的 λ 有红外不稳定性, 为了消除红外发散, 于是引入 T 测量函数^[6]

$$T = e^{\lambda_T}, \quad (3)$$

在所有部分子是硬的、非共线的情况下, λ_T 就是(2)式定义的 λ , $\frac{1}{T} = e^{-\lambda_T}$ 与 Lund 的面积率一致, 于是得到包含 n 个部分子的某一弦态的几率由 $\frac{1}{T(k_1, k_2, \dots, k_n)}$ 给出, 这里 k_1, k_2, \dots, k_n 为 n 个部分子的四动量.

根据以上工作模型, 文献[4]利用 JETSET 7.4 对事例的球度、冲度、非平面度、等整体性质作了计算, 结果表明, 这些强子化末态整体性质对部分子色联接方式不敏感. 本文利用以上工作模型对末态强子产额及长寿命强子 $\pi^\pm, K^\pm, p/\bar{p}$ 进行 Monte Carlo 计算.

3 Monte Carlo 计算结果及分析

在反应强子产生中, 末态粒子产额的测量和研究一直是多粒子动力学的一个基本课题. 每当一个新的加速器达到一个新的能量时, 一般都先对末态粒子产额和动量谱进行测量, 并以此作为检验各种强子化机制的一个基本方法. 利用上节所述的 Monte Carlo 工作模型, 对 e^+e^- 反应中, 质心系能量 $\sqrt{S} \sim 10, 30, 91\text{GeV}$ 时, 各种强子的产额分别进行了计算, 计算结果见表 1、表 2、表 3. 为了便于比较色中性流和色分离单态这两种完全不同的色联接方式强子化对强子产额引起的差别, 我们对 JETSET7.4 产生器的相关参数不作任何调整, 一律取缺省值. (取平均事例)

表 1 e^+e^- 反应中, 质心系能量为 $\sqrt{S} \approx 10.0\text{GeV}$ 时, 强子(包含相应的反粒子)产额

| Particle | Multiplicity | JETSET | | |
|---------------|-------------------|--------|--------------------|--------------------|
| | | No cs | 100% cs(T-Weight) | 100% cs(C-Weight) |
| π^+ | 6.6 ± 0.2 | 6.12 | 6.31 | 6.36 |
| π^0 | 3.2 ± 0.3 | 3.59 | 3.71 | 3.74 |
| η | 0.2 ± 0.04 | 0.34* | 0.37* | 0.37* |
| $\rho(770)^0$ | 0.35 ± 0.04 | 0.50* | 0.53* | 0.53* |
| ω | 0.30 ± 0.08 | 0.41 | 0.44 | 0.44 |
| η' | 0.03 ± 0.01 | 0.095* | 0.099* | 0.100* |
| $\phi(1020)$ | 0.044 ± 0.003 | 0.073* | 0.085* | 0.084* |
| K^+ | 0.90 ± 0.04 | 0.98 | 0.99 | 0.99 |
| K^0 | 0.91 ± 0.05 | 0.85 | 0.85 | 0.85 |
| $K^*(892)^+$ | 0.27 ± 0.03 | 0.42* | 0.41* | 0.41* |
| $K^*(892)^0$ | 0.29 ± 0.03 | 0.37 | 0.36 | 0.36 |

续表

| Particle | Multiplicity | JETSET | | |
|------------------------------------|-----------------|----------|--------------------|--------------------|
| | | No cs | 100% cs(T-Weight) | 100% cs(C-Weight) |
| D ⁺ | 0.16 ± 0.03 | 0.17 | 0.17 | 0.17 |
| D ⁰ | 0.37 ± 0.06 | 0.48 | 0.48 | 0.48 |
| D ⁺ (2010) ⁺ | 0.22 ± 0.04 | 0.24 | 0.24 | 0.24 |
| D _s ⁺ | 0.13 ± 0.02 | 0.097 | 0.097 | 0.097 |
| J/ψ(1s) | | 0.000027 | 0.00069 | 0.00575 |
| p | 0.253 ± 0.016 | 0.342* | 0.298 | 0.303* |
| Δ(1232) ⁺⁺ | 0.040 ± 0.010 | 0.051 | 0.041 | 0.042 |
| Λ | 0.080 ± 0.007 | 0.107* | 0.093 | 0.094 |
| Σ ⁺ | | 0.023 | 0.020 | 0.020 |
| Σ ⁻ | | 0.015 | 0.013 | 0.013 |
| Σ ⁰ | 0.023 ± 0.008 | 0.021 | 0.019 | 0.019 |
| Σ [±] | | 0.037 | 0.033 | 0.033 |
| Σ ⁺⁺ + Σ ⁻⁻ | 0.0106 ± 0.0020 | 0.0172* | 0.0136 | 0.0138 |
| Ξ ⁻ | 0.0059 ± 0.0007 | 0.0074 | 0.0065 | 0.0065 |
| Ξ(1530) ⁰ | 0.0015 ± 0.0006 | 0.0013 | 0.0011 | 0.0010 |
| Ω ⁻ | 0.0007 ± 0.0004 | 0.0002 | 0.0001 | 0.0001 |
| Δ _c ⁺ | 0.100 ± 0.030 | 0.049 | 0.044 | 0.044 |
| charged | 7.753 ± 0.205 | 7.442 | 7.590 | 7.653 |

charged 为 $\pi^{\pm}, K^{\pm}, p/\bar{p}$ 总的带电多重数. * 表示计算结果超过了实验的 3 个标准偏差, 表中 data 值来自文献[7].

表 2 e^+e^- 反应中, 质心系能量为 $\sqrt{S} \approx 30.0\text{GeV}$ 时, 强子(包含相应的反粒子)产额

| Particle | Multiplicity | JETSET | | |
|------------------------------------|----------------------------|--------|--------------------|--------------------|
| | | No cs | 100% cs(T-Weight) | 100% cs(C-Weight) |
| π^+ | 10.3 ± 0.4 | 10.6 | 11.0 | 11.5 |
| π^0 | 5.83 ± 0.28 | 6.11 | 6.32 | 6.66 |
| η | 0.61 ± 0.07 | 0.61 | 0.66 | 0.69 |
| $\rho^0(770)$ | 0.81 ± 0.08 | 0.91 | 0.96 | 1.01 |
| ω | | 0.79 | 0.83 | 0.88 |
| η' | 0.26 ± 0.10 | 0.18 | 0.18 | 0.19 |
| $\phi(1020)$ | 0.085 ± 0.011 | 0.117 | 0.132* | 0.134* |
| K^+ | 1.48 ± 0.09 | 1.52 | 1.54 | 1.62 |
| K^0 | 1.48 ± 0.07 | 1.34 | 1.35 | 1.43 |
| $K^+(892)^+$ | 0.64 ± 0.05 | 0.69 | 0.68 | 0.73 |
| $K^+(892)^0$ | 0.56 ± 0.06 | 0.64 | 0.63 | 0.68 |
| D ⁺ | 0.17 ± 0.03 | 0.19 | 0.19 | 0.19 |
| D ⁰ | 0.45 ± 0.07 | 0.55 | 0.55 | 0.55 |
| D ⁺ (2010) ⁺ | 0.43 ± 0.07 | 0.27 | 0.27 | 0.27 |
| D _s ⁺ | 0.45 ± 0.20 ^(a) | 0.12 | 0.12 | 0.12 |
| B ⁺ | | 0.11 | 0.11 | 0.11 |

续表

| Particle | Multiplicity | JETSET | | |
|------------------------------------|-----------------|--------|---------------------|---------------------|
| | | No cs | 100 % cs(T-Weight) | 100 % cs(C-Weight) |
| J/ψ(1S) | | 0.0021 | 0.0021 | 0.0021 |
| p | 0.640 ± 0.050 | 0.694 | 0.631 | 0.694 |
| Δ(1232) ⁺⁺ | | 0.109 | 0.094 | 0.104 |
| Λ | 0.205 ± 0.010 | 0.214 | 0.193 | 0.212 |
| Σ ⁺ | | 0.044 | 0.040 | 0.043 |
| Σ ⁻ | | 0.035 | 0.031 | 0.035 |
| Σ ⁰ | | 0.043 | 0.039 | 0.043 |
| Σ ⁺ | | 0.079 | 0.071 | 0.078 |
| Σ ⁺⁺ + Σ ^{- -} | 0.033 ± 0.008 | 0.038 | 0.032 | 0.036 |
| Ξ ⁻ | 0.0176 ± 0.0027 | 0.0150 | 0.0133 | 0.0145 |
| Ξ(1530) ⁰ | | 0.0027 | 0.0022 | 0.0026 |
| Ω ⁻ | 0.014 ± 0.007 | 0.0003 | 0.0003 | 0.0003 |
| Λ _c ⁺ | 0.110 ± 0.050 | 0.068 | 0.067 | 0.066 |
| charged | 12.420 ± 0.410 | 12.814 | 13.171 | 13.814* |

charged 为 $\pi^+, K^+, p/\bar{p}$ 总的带电多重数. * 表示计算结果超过了实验的 3 个标准偏差, 表中 data 值来自文献[7].

表 3 e^+e^- 反应中, 质心系能量为 $\sqrt{S} \approx 91.0\text{GeV}$ 时, 强子(包含相应的反粒子)产额

| Particle | Multiplicity | JETSET | | |
|-----------------------|-----------------|---------|---------------------|---------------------|
| | | No cs | 100 % cs(T-Weight) | 100 % cs(C-Weight) |
| π^+ | 16.99 ± 0.27 | 16.94 | 17.06 | 18.98* |
| π^0 | 9.47 ± 0.54 | 9.58 | 9.69 | 10.74 |
| η | 0.971 ± 0.030 | 1.003 | 1.043 | 1.150* |
| $\rho^0(770)$ | 1.231 ± 0.098 | 1.503 | 1.522 | 1.693* |
| ω | 1.08 ± 0.12 | 1.35 | 1.36 | 1.53* |
| η' | 0.156 ± 0.021 | 0.297* | 0.295* | 0.328* |
| $\phi(1020)$ | 0.0963 ± 0.0032 | 0.1932* | 0.2077* | 0.2185* |
| K^+ | 2.242 ± 0.063 | 2.300 | 2.305 | 2.537* |
| K^0 | 2.013 ± 0.033 | 2.070 | 2.058 | 2.282* |
| $K^*(892)^+$ | 0.715 ± 0.059 | 1.102* | 1.074* | 1.205* |
| $K^*(892)^0$ | 0.738 ± 0.024 | 1.096* | 1.069* | 1.202* |
| D^+ | 0.175 ± 0.016 | 0.175 | 0.174 | 0.174 |
| D^0 | 0.454 ± 0.030 | 0.489 | 0.489 | 0.490 |
| $D^*(2010)^+$ | 0.183 ± 0.010 | 0.241* | 0.240* | 0.240* |
| D_s^+ | 0.131 ± 0.021 | 0.130 | 0.130 | 0.130 |
| B^+ | 0.288 ± 0.026 | 0.260 | 0.260 | 0.260 |
| J/ψ(1S) | 0.0052 ± 0.0004 | 0.0049 | 0.0049 | 0.0050 |
| p | 1.048 ± 0.045 | 1.195* | 1.090 | 1.280* |
| Δ(1232) ⁺⁺ | 0.085 ± 0.014 | 0.188* | 0.164* | 0.195* |
| Λ | 0.374 ± 0.009 | 0.385 | 0.351 | 0.408 |

续表

| Particle | Multiplicity | JETSET | | |
|-----------------------------|---------------------|---------|--------------------|--------------------|
| | | No cs | 100% cs(T-Weight) | 100% cs(C-Weight) |
| Σ^+ | 0.099 ± 0.015 | 0.072 | 0.066 | 0.077 |
| Σ^- | 0.081 ± 0.010 | 0.067 | 0.061 | 0.073 |
| Σ^0 | 0.070 ± 0.012 | 0.073 | 0.067 | 0.079 |
| Σ^\pm | 0.174 ± 0.009 | 0.140* | 0.127* | 0.150 |
| $\Sigma^{*+} + \Sigma^{*-}$ | 0.0462 ± 0.0028 | 0.0738* | 0.0652* | 0.0760* |
| Ξ | 0.0258 ± 0.0010 | 0.0274 | 0.0248 | 0.0287 |
| $\Xi(1530)^0$ | 0.0055 ± 0.0005 | 0.0054 | 0.0048 | 0.0055 |
| Ω^- | 0.0016 ± 0.0003 | 0.0007 | 0.0006* | 0.0007 |
| Λ_c^+ | 0.078 ± 0.017 | 0.059 | 0.059 | 0.059 |
| charged | 20.280 ± 0.280 | 20.435 | 20.455 | 22.797* |

charged 为 π^+ , K^+ , p/\bar{p} 总的带电多重数. * 表示计算结果超过了实验的 3 个标准偏差, 表中 data 值来自文献[7].

从以上表中可以看到:

1) $\sqrt{S} \approx 10\text{GeV}$ 时: 色中性流模型的联接方式强子化有 8 个粒子产额超过实验的 3 个标准偏差; 而色分离单态的联接方式强子化, 在 T 权重下, 只有 5 个介子产额在 3 个标准偏差之外, 重子产额都在实验的 3 个标准偏差之内. 其中 $\eta, \rho^0, \eta', \phi(1020), K^*(892)^+$ 5 个介子产额对于两种不同的色联接方式强子化的结果都超过 3 个标准偏差.

2) $\sqrt{S} \approx 30\text{GeV}$ 时, 色中性流的联接方式强子化给出的强子产额都在实验的 3 个标准偏差之内; 色分离单态的联接方式强子化, 只有一个介子 $\phi(1020)$ 的产额超过实验的 3 个标准偏差.

3) $\sqrt{S} = 91\text{GeV}$ 时, 色中性流的联接方式强子化有 9 个粒子产额超过实验的 3 个标准偏差, 由 T 权重确定的色分离单态联接方式强子化, 也有 9 个粒子产额超过实验的 3 个标准偏差, 但对于质子 p 的产额, 它是直接测量的惟一长寿命重子, 色中性流的联接方式强子化给出的结果在 3 个标准偏差之外, 而色分离单态的联接方式强子化给出的产额与实验符合得很好.

上述结果表明: 由 T 权重确定的色分离单态的联接方式强子化与色中性流的联接方式强子化得到的各种粒子的产额有差别, 但与实验符合程度相同, 有些粒子的产额更好.

对各种强子的产额, 部分子色分离单态的联接方式强子化可以给出与实验符合得较好的结果. 那么, 对末态强子的动量谱这一更为精细的性质, 两种完全不同的色联接方式强子化又有多大差别? 下面我们对这一问题进行研究. 同样利用上述工作模型, 在不同能量下、采取不同的权重分别对 $\pi^\pm, K^\pm, p/\bar{p}$ 的动量谱进行 Monte Carlo 计算, 并与色中性流模型强子化得到的结果及实验结果进行比较. 计算结果见图 4—6.

图 4—6 结果显示: 质心系能量 $\sqrt{S} = 91\text{GeV}$ 时, π^\pm, K^\pm 的动量谱, 由 T 权重确定的色分离单态与色中性流这两种完全不同的联接方式强子化得到的结果差别不大, 都与实验符合; 而 p/\bar{p} 的动量谱, 在 $0.02 < x < 0.2$ 区间内, 色中性流的联接方式强子化给出的动量谱偏高, 与实验符合不好, 而 T 权重确定的色分离单态联接方式强子化得到的动量谱

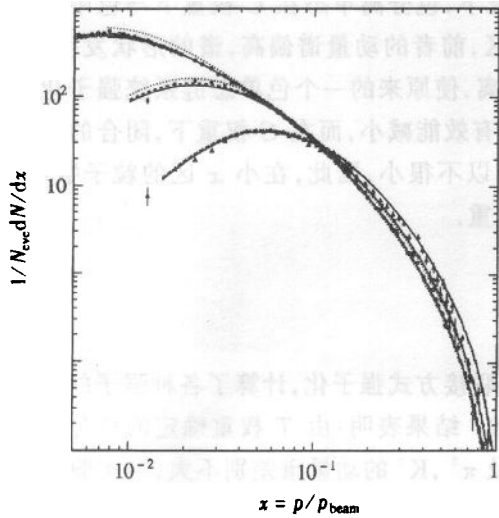


图 4 质心系能量 $\sqrt{S} = 10, 29, 91\text{GeV}$ 时, π^- 介子的动量谱

$\Delta\sqrt{S} = 10\text{GeV}$ 的实验数据(文献[8]), $\blacksquare\sqrt{S} = 29\text{GeV}$ 的实验数据(文献[9]), $\circ\sqrt{S} = 91\text{GeV}$ 的实验数据(文献[10—13]), — 色中性流的联接方式强子化给出的结果, - - - 分别为色分离单态的联接方式强子化在 T 权重、 C 权重下给出的结果。

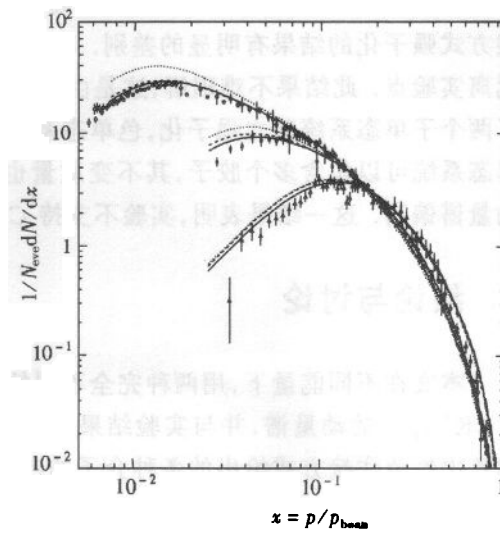


图 5 质心系能量 $\sqrt{S} = 10, 29, 91\text{GeV}$ 时, K^+ 介子的动量谱
图注同图 4

与实验符合很好. 质心系能量 $\sqrt{S} = 29, 10\text{GeV}$ 时, 对 π^+ , K^+ 的动量谱, 由 T 权重确定的色分离单态与色中性流这两种不同的联接方式强子化得到的结果差别不大, 与实验符合的程度相同; 而对 p/\bar{p} 的动量谱, 由 T 权重确定的色分离单态联接方式强子化得到的动量谱变低, 比色中性流模型强子化得到的动量谱与实验符合程度好一些. 这一结果表明由 T 权重确定的色分离单态联接方式强子化, 对介子 π^+ , K^+ 的动量谱影响不大, 而对重子 p/\bar{p} 的动量谱有较大影响, 即动量谱变低. 这是由于色分离, 使原来的一个色单态链系统强子化变成了两个子单态系统独立强子化, 色单态系统的有效能减小, 而色分离的闭合胶子单态系统, 其不变质量很小, 那么在这个不变质量很小的子单态系统中产生重子 p/\bar{p} 的几率有可能很小, 因此, 强子化末态重子 p/\bar{p} 产额减小, 动量谱变低.

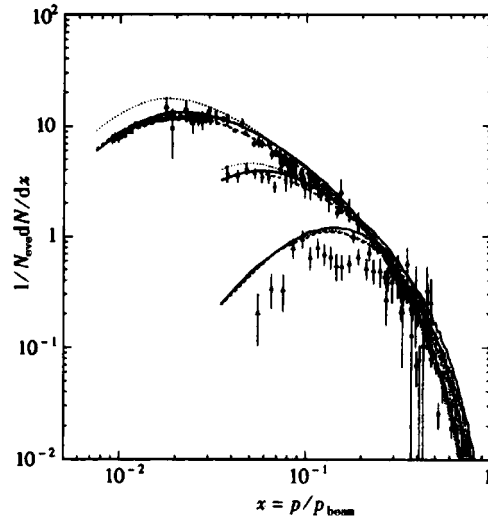


图 6 质心系能量 $\sqrt{S} = 10, 29, 91\text{GeV}$ 时, p/\bar{p} 重子的动量谱
图注同图 4

图 4—6 的结果还显示,在能量较高的情况下,色分离单态在 C 权重下与色中性流联接方式强子化的结果有明显的差别. 在小 x 区,前者的动量谱偏高,谱的形状发生变化,远离实验点. 此结果不难理解,这是由于色分离,使原来的一个色单态链系统强子化变成了两个子单态系统独立强子化,色单态系统的有效能减小,而在 C 权重下,闭合的纯胶子单态系统可以包含多个胶子,其不变质量也可以不很小,因此,在小 x 区的粒子数增多,动量谱偏高. 这一结果表明,实验不支持 C 权重.

4 结论与讨论

本文在不同能量下,用两种完全不同的色联接方式强子化,计算了各种强子的产额及 $\pi^{\pm}, K^{\pm}, p/\bar{p}$ 的动量谱,并与实验结果进行比较. 结果表明:由 T 权重确定的色分离单态和色中性流联接方式给出的各种介子的产额及 π^{\pm}, K^{\pm} 的动量谱差别不大,与实验符合的程度相同;给出的重子产额(特别是 p/\bar{p} 产额)及 p/\bar{p} 的动量谱两者差别较大,前者与实验符合程度更好. 这一事实说明,过去从色中性流联接方式进行强子化所给出的产额及 $\pi^{\pm}, K^{\pm}, p/\bar{p}$ 动量谱能与实验较好拟合,并不能表明自然界就采用了这种大 N_c 近似下的联接方式(即传统的色中性流模型).

上述结果还表明,重子产额、 p/\bar{p} 动量谱相对介子产额、及 π^{\pm}, K^{\pm} 动量谱而言对于色联接方式比较敏感. 此结果不难理解,因为在高能反应中,绝大部分末态介子是由不稳定强子衰变而来,因而只能间接反映强子化机制;而超过半数的末态重子是直接产生的,即使是由其它重子衰变而来,它也大体保留了母体的快度和运动方向,因此,重子的性质能更直接反映强子化机制,应该对作为强子化起点的色联接方式比介子更为敏感.

以上我们只计算了各种重子产额及 p/\bar{p} 的动量谱,那么,有关重子产生更精细的性质,比如重子介子比、重子反重子($B\bar{B}$)间的各种关联是否能对部分子末态的色联接方式给出某种判别? 这是进一步需要研究的问题.

作者感谢梁作堂教授、刘春秀博士、李世渊博士及课题组其他成员有益的讨论.

参考文献 (References)

- 1 Sjostrand T. *int. J. Mod. Phys.*, 1988, **A3**:751; *Z Physics at LEP1*, CERN Report CERN89-09, **3**:143
- 2 WANG Qun, XIE Qu-Bing. *High Energy Phys. and Nucl. Phys.*, 1995, **19**:1100 (in Chinese)
(王群、谢去病. *高能物理与核物理*, 1995, **19**:1100)
- 3 Friberg C, Gustafson G, Hakkinen J. *Nucl. Phys.*, 1997, **B490**:289
- 4 Wang Qun, Gustafson G, Xie Qu-Bing. *Phys. Rev.*, 2000, **D62**:054004
- 5 Knowles I G, Lafferty G D. *Journal of Phys. Nuclear and Particle Phys.*, 1997, **G23**:731
- 6 Andersson B, Gustafson G, Soderberg B. *Nucl. Phys.*, 1986, **B264**:29
- 7 Particle Data Group. *Eur. Phys. J.* 2000, **C15**:226
- 8 ARGUS, Albrecht H et al. *Z. Phys.*, 1989, **C44**:547
- 9 TPC, Aihara H et al. *Phys. Rev. Lett.*, 1988, **61**:1263
- 10 ALEPH, D. Buskulic et al. *Z. Phys.*, 1995, **C66**:355
- 11 DELPHI, Abreu P et al. *Eur. Phys. J.*, 1998, **C5**:585

- 12 OPAL, Akers R et al. *Z. Phys.*, 1994, **C63**: 181
13 SLD, Abe K et al. *Phys. Rev.*, 1999, **D59**: 052001

Hadron Multiplicities and Its Momentum Spectra from Color Separate Connection among Final Partons in e^+e^- Annihilation Events*

SHAO Feng-Lan XIE Qu-Bing

(*Physics Department, Shandong University, Jinan 250100, China*)

Abstract We calculate the hadron multiplicities and the momentum spectra of π^+ , K^+ , p/\bar{p} in $e^+e^- \rightarrow q\bar{q} + ng \rightarrow$ hadrons for the case where the color separate singlet connections occur among the final partons $q\bar{q} + ng$ with the help of JETSET event generator. We compare the results with those obtained from the traditional color flow models and the available experimental data. The comparisons show that the momentum spectra obtained in the case of C -weight have a significant deviation from the data, whereas those obtained in the case of T -weight are consistent with the data. The results from the case of T -weight are also consistent with those from the color flow model in most cases, and for proton, are even better than the later as implemented in default JETSET compared with the data.

Key words parton configuration, color separate singlet, hadronization, color connection

Received 20 November 2000

* Supported by National Natural Science Foundation of China