

# TC2 模型中的 TC 介子对 $e^+ e^- \rightarrow \bar{t}c$ 过程的贡献\*

鲁公儒 郭宏凯 岳崇兴 肖振军

(河南师范大学物理系 新乡 453002)

**摘要** 计算了 Topcolor 辅助的人工色模型中的赝标哥尔斯通玻色子对超高能正负电子对撞机上的  $e^+ e^- \rightarrow \bar{t}c(\bar{c}t)$  过程的修正. 发现在质心能量为  $\sqrt{s} = 200\text{GeV}$  时新物理对该过程的修正结果比标准模型的结果高出约 1 个量级. 如果选取质心能量为  $\sqrt{s} = 500\text{GeV}$  得到的结果为  $\sigma(e^+ e^- \rightarrow \bar{t}c) \sim 10^{-37} \text{cm}^2$ .

**关键词** 顶夸克 人工色模型 顶夸克介子

## 1 引言

随着 top 夸克的发现,人们对研究其产生和衰变产生了极大的兴趣,在 LEP II 上  $e^+ e^-$  碰撞过程的质心系能量为  $\sqrt{s} = 200\text{GeV}$ ,不足以产生正、反 top 夸克对,但是可以产生一个单 top 夸克和一个较轻的反夸克( $\bar{t}c$  或  $\bar{c}t$ ). 虽然 top 夸克已在  $\bar{p}p$  对撞机上被发现,但由于  $e^+ e^- \rightarrow \bar{t}c$  过程非常干净,该过程对 top 夸克研究仍然是很有意义的. 由于此过程是高阶量子效应即圈图贡献,因而对该过程散射截面的精确测量将使我们得到更多的新物理方面的信息并且对新物理模型给出进一步的限制. 在标准模型(SM)<sup>[1]</sup>和其它一些模型<sup>[2-5]</sup>中,已经对正、负电子对撞机上的  $\bar{t}c$  的产生过程进行了广泛的研究. 结果表明,由于 GIM 机制的限制作用,标准模型<sup>[1]</sup>和其扩展模型(含一个或两个黑格斯二重态的四代夸克模型)<sup>[1,3]</sup>对  $e^+ e^- \rightarrow \bar{t}c$  过程的理论预言值很小,难以被探测到. 文献[4,5]结果表明在最小超对称模型(MSSM)和 Te-模型(TC)中,其结果同上述标准模型的结果一样很小.  $E_6$  模型中的单 top 产生截面<sup>[2]</sup>,可以被观测到,但是要依赖一些参数值的选择.

TC 理论通过弱电对称动力学破缺使规范玻色子获得质量<sup>[6]</sup>. 后来引入扩展的 TC 理论(ETC)<sup>[7]</sup>使普通的夸克和轻子获得了质量. 但 ETC 模型却产生了太大的味改变中性流. 为此后来又引入了跑动的 TC 理论(WTC)<sup>[8]</sup>来解决这个问题. WTC 比 ETC 提供了更小的弱作用参数  $S$ ,并使得与实验值的偏差降低到了实验限制以内<sup>[9]</sup>. 为了解释夸克之间大的质量差引入了多标度的 WTC 模型<sup>[10]</sup>. 然而,仍然难以得到在 Tevatron<sup>[11-13]</sup>上所测得的 top 夸克的那样大的质量. 并且由于此模型的很小的衰变常数,使得  $Z - b\bar{b}$

1999-07-02 收稿

\* 国家自然科学基金资助(19575015,19775012)

过程的分支比 $R_b^{[14]}$ 太大.

为了解决上述困难,人们又提出新的动力学弱电破缺机制,即 topcolor 辅助的 TC 模型(TC2)<sup>[15]</sup>. 在 TC2 模型中其它问题也同时得到了相应的改善. 在此模型中,衰变参数选取了一个较小的值 $F_t = 50 \text{ GeV}$ ,同时 top 夸克的质量主要由 top 色相互作用产生. 因而我们认为 TC2 模型能够对上述问题给出较为合理的解释. 下面给出在此模型下对过程 $e^+e^- \rightarrow \bar{t}c$ 给出的详细计算.

## 2 计算

在 TC2 模型中共有 63 个人工色赝标哥尔斯通玻色子(PGB),其中 60 个为 TC 部分的 TC 介子,包括色八重态的 $P_8^\pm$ 和色单态的 $P^\pm$ . 其衰变常数为 $F_t = 123 \text{ GeV}$ ;另外还有 3 个为 top 色部分的 top 介子 $\Pi_t^0$ 和 $\Pi_t^\pm$ ,其衰变常数为 $F_{\Pi_t} = 50 \text{ GeV}^{[15]}$ . top 夸克质量 $m_t$ 主要来源于 top 色部分 $m_{t2}^{[15]}$ ,而 TC 部分只提供很小的一部分 $m_u$ , $m_u \sim 5 - 24 \text{ GeV}^{[15,16]}$ .  $m_u$ 表示由 ETC 相互作用提供的 top 夸克的质量. top 介子 $m_{\Pi_t}$ 的质量约为 $200 \text{ GeV}^{[15]}$ .

色八重态的 PGB 与 top 夸克(或 bottom 夸克)相互作用与一代模型下的相互作用类似,只是将 top 夸克质量 $m_t$ 换为 $m_u$ , $F_Q$ 换为 $F_t^{[18]}$ ,即:

$$\frac{\sqrt{2}m_u}{F_t} \left[ i\bar{t}\gamma_5 \frac{\lambda^a}{2} t\Pi_a^0 + i\bar{t}\gamma_5 \frac{\lambda^a}{2} t\Pi_a^3 + \frac{1}{\sqrt{2}}\bar{t}(1-\gamma_5) \frac{\lambda^a}{2} b\Pi_a^+ + \frac{1}{\sqrt{2}}\bar{b}(1-\gamma_5) \frac{\lambda^a}{2} t\Pi_a^- \right], \quad (1)$$

色单态的 PGB 与 top 夸克(或 bottom 夸克)相互作用为<sup>[18]</sup>,

$$\frac{G_t m_u}{\sqrt{2}F_t} \left[ i\bar{t}\gamma_5 t\Pi^0 + i\bar{t}\gamma_5 t\Pi^3 + \frac{1}{\sqrt{2}}\bar{t}(1-\gamma_5) b\Pi^+ + \frac{1}{\sqrt{2}}\bar{b}(1-\gamma_5) t\Pi^- \right], \quad (2)$$

其中 $C_t = \frac{1}{\sqrt{6}}$ . TC 衰变常数 $F_t$ 应为 $F_t = 246/\sqrt{N_d} \text{ GeV}$ ,以便确保规范玻色子 $Z^0$ 和 $W^\pm$

得到相应的质量,对于 $N_d = 4$ ,我们应选择 $F_t = 123 \text{ GeV}$ .

top 介子与 top 夸克(或 bottom 夸克)相互作用为<sup>[15,17,18]</sup>,

$$\frac{m_t - m_u}{\sqrt{2}F_{\Pi_t}} \left[ i\bar{t}\gamma_5 t\Pi_t^0 + \frac{1}{\sqrt{2}}\bar{t}(1-\gamma_5) b\Pi_t^+ + \frac{1}{\sqrt{2}}\bar{b}(1+\gamma_5) t\Pi_t^- \right]. \quad (3)$$

top 介子与顶夸克和粲夸克相互作用为<sup>[15]</sup>

$$\frac{m_t - m_u}{F_{\Pi_t}} \left[ \frac{1}{\sqrt{2}}\bar{t}(1-\gamma_5) c\Pi_t^0 + \frac{1}{\sqrt{2}}\bar{c}(1+\gamma_5) t\Pi_t^0 \right]. \quad (4)$$

在计算中所用到的费曼规则如 $\bar{b}cP_8^\pm$ 之间的相互作用可参考文献[5,19].

首先,计算了色八重态的 TC 介子对 $e^+e^- \rightarrow \bar{t}c$ 过程的贡献,图 1 给出了带电 PGB 玻色子对该过程的圈图贡献.

我们采用了't Hooft-Feynman 规范和质壳维数正规化方案<sup>[20,21]</sup>,将色八重态的 TC 介子对有效顶角 $Z\bar{t}c$ 和 $\gamma\bar{t}c$ 的所有贡献求和,得到总的有效顶角为

$$V_Z^\mu = ie[F_{1Z}\gamma^\mu L + F_{2Z}\gamma^\mu R + F_{3Z}P_t^\mu L + F_{4Z}P_t^\mu R + F_{5Z}P_c^\mu L + F_{6Z}P_c^\mu R], \quad (5)$$

$$V_\gamma^\mu = ie[F_{1\gamma}\gamma^\mu L + F_{2\gamma}\gamma^\mu R + F_{3\gamma}P_t^\mu L + F_{4\gamma}P_t^\mu R + F_{5\gamma}P_c^\mu L + F_{6\gamma}P_c^\mu R], \quad (6)$$

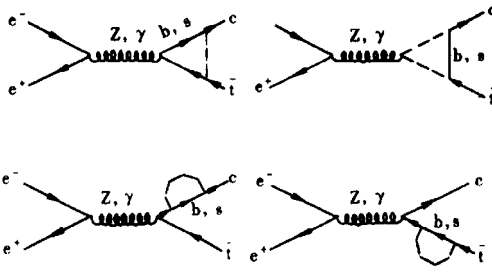


图 1  $e^+e^- \rightarrow \bar{t}c$  过程的单圈费曼图

虚线表示与 Top 介子  $\Pi_t^\pm$  和 TC 介子  $P_t^\pm, P_s^\pm$  相对应的传播子。

$P_t^\mu$  和  $P_c^\mu$  分别表示顶夸克和粲夸克的动量; 形状因子为

$$F_{iZ} = \sum_{\xi=b,s} F_{iZ}^\xi, \quad (7)$$

$$F_{i\gamma} = \sum_{\xi=b,s} F_{i\gamma}^\xi, \quad (8)$$

$F_{iZ}^b, F_{i\gamma}^b, F_{iZ}^s, F_{i\gamma}^s$  分别表示虚的 b 夸克和虚的 s 夸克的贡献. 在此由于受到汤川耦合矩阵元  $V_{ud}V_{cd}$  的压低作用我们忽略了下夸克的贡献. 形状因子  $F_{iZ}^\xi, F_{i\gamma}^\xi$  表示为两点和三点头量积分 ( $B_0, B_1, C_0, C_{ij}$ )<sup>[22]</sup> 的形式,

$F_{iZ}^\xi$  和  $F_{i\gamma}^\xi$  的详细表达式可见附录 A. 显然所有的紫外发散在有效顶角处互相抵消. 总的散射截面表达式为

$$\sigma = \frac{s - m_t^2}{32\pi^2} \int_{-1}^1 \sum |\bar{M}|^2 d\cos\theta, \quad (9)$$

其中

$$\sum |\bar{M}|^2 = \frac{1}{4} |\bar{M}_Z|^2 + \frac{1}{4} |\bar{M}_\gamma|^2 + \frac{1}{2} \text{Re} M_Z M_\gamma^* \quad (10)$$

它的相空间积分可写为

$$\int_{-1}^1 |\bar{M}_Z|^2 d\cos\theta = \frac{128\pi^2 \alpha_{em}^2}{(s - m_Z^2)^2} (v_e^2 + a_e^2) H_{ZZ}, \quad (11)$$

这里的参数  $H_{ZZ}$  为

$$H_{ZZ} = \frac{2}{3}(s - m_t^2)(2s + m_t^2)(F_{1Z}^2 + F_{2Z}^2) + \frac{1}{3}(s - m_t^2)^2 \left[ \frac{s - m_t^2}{2}(F_{3Z}^2 + F_{4Z}^2 + F_{5Z}^2 + F_{6Z}^2 - 2F_{3Z}F_{5Z} - 2F_{4Z}F_{5Z}) + 2m_c(F_{1Z}F_{3Z} + F_{2Z}F_{4Z} - F_{1Z}F_{5Z} - F_{2Z}F_{6Z}) - 2m_t(F_{1Z}F_{6Z} + F_{2Z}F_{5Z} - F_{1Z}F_{4Z} - F_{2Z}F_{3Z}) - 2m_t m_c(F_{3Z}F_{4Z} + F_{5Z}F_{6Z}) - F_{3Z}F_{6Z} - F_{4Z}F_{5Z} \right] + 8sm_t m_c F_{1Z}F_{2Z}, \quad (12)$$

另外,

$$\int_{-1}^1 |\bar{M}_\gamma|^2 d\cos\theta = \frac{64\pi^2 \alpha_{em}^2}{s^2} H_{\gamma\gamma}, \quad H_{\gamma\gamma} = H_{ZZ} \Big|_{F_{iZ} \rightarrow F_{i\gamma}}, \quad (13)$$

$$\int_{-1}^1 M_Z M_\gamma^* d\cos\theta = -\frac{64\pi^2 \alpha_{em}^2}{s(s - m_Z^2)} (v_e + a_e) H_{Z\gamma}, \quad (14)$$

$$H_{Z\gamma} = H_{ZZ} \Big|_{F_{iZ}^2 \rightarrow F_{iZ}F_{i\gamma}, 2F_{iZ}F_{jZ} \rightarrow F_{iZ}F_{j\gamma} + F_{i\gamma}F_{jZ}}; \quad (15)$$

式子中的常数为

$$v_e = s_w^2/(2s_w c_w), \quad a_e = (-1 + 2s_w^2)/(4s_w c_w), \quad s_w^2 = 0.23. \quad (16)$$

其中  $s_w^2 = \sin^2 \theta_w$ ,  $\theta_w$  为 Weinberg 角. 在计算中忽略了色单态的 TC 介子对该过程的贡

献, 因为色八重态因子比色单态形状因子多出一个抬高的色因子 18, 从而色八重态 TC 介子的贡献要比色单态 TC 介子的贡献大 18 倍, 至少两个量级. 因此我们在此过程的计算中忽略了色单态 TC 介子的贡献.

另一方面, 计算了 top 介子对  $e^+e^- \rightarrow \bar{t}c$  过程的贡献. 其单圈费曼图仍见图 1, 只是这里的虚线表示带电 top 介子  $\Pi_t^+$  的传播子. 仍采用了 t'Hooft-Feynman 规范和质壳维数正规化方案<sup>[20,21]</sup>, 将有效顶角  $\bar{Z}_{tc}$  和  $\bar{\gamma}_{tc}$  的所有图的贡献求和, 得到由 top 介子交换产生的有效顶角  $\bar{Z}_{tc}$  和  $\bar{\gamma}_{tc}$ , 其形式与  $V_{Zc}^a, V_{\gamma c}^a$  的形式相同, 只是形状因子  $F'_{iZ}$  和  $F'_{i\gamma}$  的形式不同,

$$V_{Zc}^a = ie[F'_{1Z}\gamma^a L + F'_{2Z}\gamma^a R + F'_{3Z}P_t^a L + F'_{4Z}P_t^a R + F'_{5Z}P_c^a L + F'_{6Z}P_c^a R], \quad (17)$$

$$V_{\gamma c}^a = ie[F'_{1\gamma}\gamma^a L + F'_{2\gamma}\gamma^a R + F'_{3\gamma}P_t^a L + F'_{4\gamma}P_t^a R + F'_{5\gamma}P_c^a L + F'_{6\gamma}P_c^a R], \quad (18)$$

$P_t^a$  与  $P_c^a$  表示虚的顶夸克和粲夸克各自的动量(其详细表达式可参见附录 B). 另外记

$$F'_{iZ} = \sum_{\xi=b,s} F_{iZ}^{\xi}, \quad F'_{i\gamma} = \sum_{\xi=b,s} F_{i\gamma}^{\xi}, \quad (19)$$

$F_{iZ}^b, F_{i\gamma}^b, F_{iZ}^s, F_{i\gamma}^s$  表示虚的 b 夸克和 s 夸克的贡献. 这里由于  $V_{td}V_{cd}$  的压低效果, 故 d 夸克的贡献很小, 忽略不计. 其余的总截面部分的计算与前边色八重态 TC 介子的计算相同.

### 3 数值结果

下面将分别给出 TC 介子和 top 介子对该过程贡献的数值结果. 首先给出 TC 介子对  $e^+e^- \rightarrow \bar{t}c$  过程的计算结果. 在计算过程中, 选取参数如下:

$$\begin{aligned} V_{cb} = V_{cs} = 1, \quad V_{ub} = V_{ub} = 0.06, \quad m_b = 4.5\text{GeV}, \\ m_c = 1.5\text{GeV}, \quad m_s = 0.18\text{GeV}, \quad m_Z = 91.187\text{GeV}, \\ s_W^2 = 0.23, \quad \alpha_{em} = 1/128.8. \end{aligned} \quad (20)$$

根据 TC2 模型<sup>[15]</sup>, 第一代和第二代夸克的质量完全由 ETC 相互作用产生. 第三代夸克的质量来源于两部分, 一部分由 ETC 作用产生, 分别记为  $m_{t1}$  和  $m_{b1}$ , 另一部分来源于 top 色相互作用, 记为  $m_{t2}$  和  $m_{b2}$ . 并且第二部分是主要的. 若取  $m_{t1} = (m_c/m_s) \times m_{b1}$ <sup>[23,24]</sup>,  $m_s = 0.18\text{GeV}$ ,  $m_c = 1.5\text{GeV}$ , 有  $m_{t1} \simeq 10\text{GeV}$ . 如果取  $m_{t1} = 17.5\text{GeV}$ , 则  $m_{b1} = 1.75\text{GeV}$ . 色八重态 TC 介子质量的理论值为  $m_{p_8} = 246 \sqrt{4/N_{TC}} \text{GeV}$ . 如果取  $N_{TC} = 4$ , 则  $m_{p_8} = 246\text{GeV}$ . 考虑到期待值的不确定性, 取  $m_{t1}$  为半自由参数, 其取值范围为  $5\text{GeV} \leq m_{t1} \leq 20\text{GeV}$ .

图 2 表示截面  $\sigma(e^+e^- \rightarrow \bar{t}c)$  随  $m_{t1}$  变化的曲线, 其中  $m_{b1} = 0.1m_{t1}$ ,  $m_{p_8} = 246\text{GeV}$ . 由

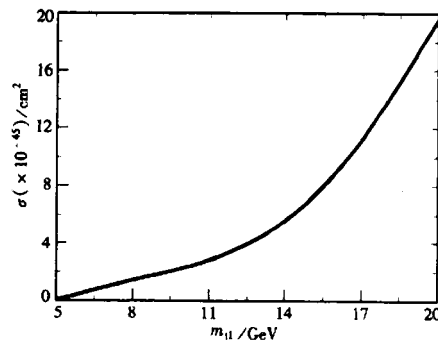


图 2 散射截面  $\sigma(e^+e^- \rightarrow \bar{t}c)$  随  $m_{t1}$  的变化曲线.  $m_{b1} = 0.1m_{t1}$ ,  $m_{p_8} = 246\text{GeV}$ , 衰变常数  $F_1 = 123\text{GeV}$ .

图可见截面随  $m_{t_1}$  的值略有增大, 而其散射截面的大小为

$$\sigma(e^+ e^- \rightarrow \bar{t}c) \sim 10^{-45} \text{ cm}^2. \quad (21)$$

接下来再看有关 top 介子对截面的贡献. 采用的参数值除了  $m_{b_2} = 6.6 \text{ GeV}$ ,  $U_R^{c*} = 0.06^{[15]}$  外, 其他值同前边选的数值一样. ( $m_{b_2}$  表示由 top-color 相互作用产生的底夸克的质量部分, 而由 top-color 相互作用产生的顶夸克的质量部分记为  $m_{t_2}$ ). 顶夸克介子的质量取值范围为  $m_{\Pi} = (180, 240) \text{ GeV}^{[15]}$ , 为了更明显地看出其效果, 选取稍大一点的参数范围  $180 \text{ GeV} \leq m_{\Pi} \leq 300 \text{ GeV}$ .

图 3 和图 4 给出了顶夸克贡献的数值结果. 图 3 给出了截面随  $m_{t_2}$  的变化曲线, 其中  $m_{\Pi} = 220 \text{ GeV}$ . 由图可知, 散射截面随  $m_{t_2}$  值的增加而很快的减小, 当  $m_{t_2} = 160 \text{ GeV}$  时其数值结果为

$$\sigma(e^+ e^- \rightarrow \bar{t}c) = 1.20 \times 10^{-39} \text{ cm}^2, \quad (22)$$

在  $m_{\Pi} = 174 \text{ GeV}$  值以上稍有振荡.

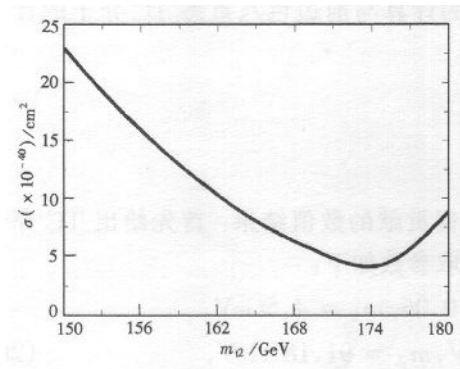


图 3 散射截面  $\sigma(e^+ e^- \rightarrow \bar{t}c)$  随  $m_{t_2}$  的变化曲线  
 $m_{\Pi} = 220 \text{ GeV}$ , 相应的衰变常数为  $F_{\Pi} = 50 \text{ GeV}$ .

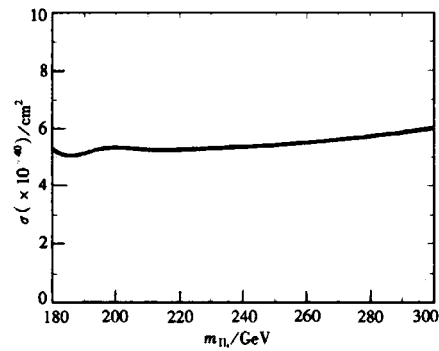


图 4 散射截面  $\sigma(e^+ e^- \rightarrow \bar{t}c)$  随  $m_{\Pi}$  的变化曲线  
 $m_{t_2} = 170 \text{ GeV}$ ,  $m_{b_2} = 6.6 \text{ GeV}$ , 相应的衰变常数为  
 $F_{\Pi} = 50 \text{ GeV}$ .

图 4 给出了当  $m_{t_2} = 170 \text{ GeV}$  和  $m_b = 6.6 \text{ GeV}$  时,  $\sigma(e^+ e^- \rightarrow \bar{t}c)$  随  $m_{\Pi}$  的变化曲线. 由图可见截面随  $m_{\Pi}$  的增加而稍有增大.

## 4 结果和讨论

本文计算了在 TC2 模型中 TC 介子与 top 介子对  $e^+ e^- \rightarrow \bar{t}c$  过程的贡献, 其质心能量为  $\sqrt{s} = 200 \text{ GeV}$ . 按照 TC2 模型, TC 介子与 top 介子同时存在并对结果产生影响. 物理结果应是 TC 介子与 top 介子的贡献之和, 我们将其物理结果计为

$$\sigma = \sigma(\text{top 介子}) + \sigma(\text{TC 介子}), \quad (23)$$

最后结果表明 TC 介子和 top 介子散射截面的总贡献为  $\sigma = 1.20 \times 10^{-39} \text{ cm}^2$ , 而标准模型的结果为  $\sigma = 1.99 \times 10^{-40} \text{ cm}^2^{[3]}$ , 最小超对称模型结果比这个值还要小一个量级. 因此我

们的结果比标准模型理论预言值高出1到2个量级。top介子的贡献比TC介子的贡献高出5个量级,因此TC介子的贡献可以被忽略。我们的结果可以达到 $10^{-39}\text{cm}^2$ 。我们还考虑了质心能量的变化对新贡献的影响,由图5可以看出:随着质心能量 $\sqrt{s}$ 的增加,总截面值也迅速增加。当 $\sqrt{s}=500\text{GeV}$ 时,总截面值可达到 $\sigma=0.47 \times 10^{-37}\text{cm}^2$ ,为我们在将来的超高能正负电子对撞机实验上找到此过程的直接证据提供了理论依据。

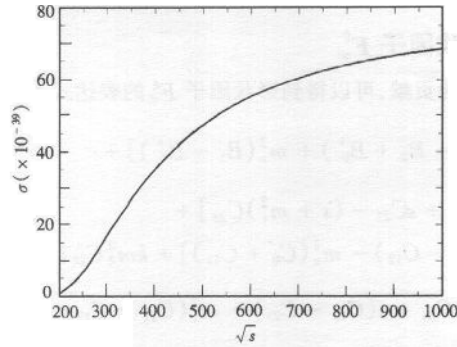


图5 散射截面 $\sigma(e^+e^- \rightarrow \bar{t}c)$

随质心能量 $\sqrt{s}$ 的变化曲线

$\sqrt{s}$ 的变化区间取为200—1000GeV之间。

#### 参考文献 (References)

- 1 Clements M et al. Phys. Rev. ,1983, **D27**:570; Axelord A. Nucl. Phys. ,1982, **B209**:349
- 2 Barger V, Hagiwara K. Phys. Rev. ,1988, **D37**:320
- 3 CHANG C H, LI X Q, WANG J X et al. Phys. Lett. ,1993, **B313**:389
- 4 WEI Y S, LI C H, YANG J M. Commun. Theor. Phys. ,1994, **21**:479
- 5 WANG XueLie, WAN LingDe, YANG JinMin et al. Phys. Lett. ,1995, **A10**(27):2041
- 6 Weinberg S. Phys. Rev. ,1976, **D13**:974; 1979, **D19**:1227; Susskind L. Phys. Rev. ,1979, **D20**:3404
- 7 Eichten E, Lane K. Phys. Lett. ,1980, **B90**:125
- 8 Holdom B. Phys. Rev. ,1981, **D24**:1441; Appelquist T, Karabali D, Wijewardhana L C R, Phys. Rev. Lett. ,1986, **57**:957
- 9 Appelquist T, Triantaphyllou G. Phys. Lett. ,1992, **B278**:345; Appelquist T, Terning J. Phys. Lett. ,1993, **B315**:139
- 10 Lane K, Eichten E. Phys. Lett. ,1989, **B222**:274; Lane K, Ramana M V. Phys. Rev. ,1991, **D44**:2678.
- 11 Tartarelli G F. 1996, Fermilab Report, CDF/PUB/TOP/PUBLIC/3664
- 12 Chivukula R S, Dobrescu B A, Terning J. Proceedings of the Internation Workshop on Particle Theory and Phenomenology, Ames, Iowa, 1995, hep-ph/9506450
- 13 Appelquist T et al. Phys. Lett. ,1989, **B220**:223
- 14 The LEP Collaborations ALEPH, DELPHI, L3, OPAL, and the LEP Electroweak Working Group, 1995, CERN-PPE/95-172
- 15 Hill C T. Phys. Lett. ,1995, **B345**:483
- 16 Balaji B. Phys. Rev. ,1996, **D53**:1699
- 17 YUE C X, ZHOU H Y, KANG Y P et al. Phys. Rev. ,1997, **D55**:5541
- 18 Ellis J, Gaillard M K, Sikivie P. Nucl. Phys. ,1981, **B182**:529; YUE C X, KANG Y P, LU G R. Phys. Rev. ,1995, **D52**:5314

- 19 Kaul R K. Rev. Mod. Phys., 1983, **55**:449; Eichten E, Hinchliffe I, Lane K D et al. Phys. Rev., 1986, **D34**:1986  
 20 Bohm M, Hollik W, Spiesberger H. Forsch Phys., 1986, **34**:687; Hollik W. Fortschr Phys., 1990, **38**:165  
 21 Grzad B, Hollik W. Nucl. Phys., 1992, **B384**:101  
 22 Passarino G, Veltman M. Nucl. Phys., 1979, **B106**:151  
 23 WU GuoHong. Phys. Rev. Lett., 1995, **74**:4317; Kitazawa N, 1995, Phys. Rev., **D52**:5374  
 24 YUE C X, KANG Y P, LU G R. J. Phys., 1997, **G23**:163

### 附录 A: TC 介子部分的形状因子 $F_{vi}^\xi$

通过计算图 1 中 TC 介子的贡献,可以得到形状因子  $F_{vi}^\xi$  的表达式为

$$\begin{aligned}
 F_{v1}^\xi &= \frac{3V_\xi V_\xi'}{2\pi^2 F_\pi^2} \{ a'_c [m_\xi^2 (B_1 - B_0 + B_0^*) + m_c^2 (B_1 - B_1^*)] + \\
 &\quad m_\xi^2 v'_b [2C_{24} + m_\xi^2 C_{21} + sC_{22} - (s + m_\xi^2)C_{23}] + \\
 &\quad m_\xi^2 a'_b [m_\xi^2 (C_0 + C_{11} - C_{12}) - m_c^2 (C_0 + C_{11})] + km_\xi^2 C_{24}^* \} \\
 F_{v2}^\xi &= \frac{3V_\xi V_\xi'}{2\pi^2 F_\pi^2} m_\xi m_c \{ a'_b [2C_{24} + s(C_{22} - C_{23}) + m_\xi^2 (C_{11} - C_{12} + C_{21} - C_{23})] + kC_{24}^* + v'_c B_1 \} \\
 F_{v3}^\xi &= \frac{3V_\xi V_\xi'}{2\pi^2 F_\pi^2} m_\xi^2 m_c \{ 2a'_b (C_{11} - C_{12} + C_{21} + C_{22} - 2C_{23}) - k(C_{12}^* + 2C_{22}^*)/2 \} \\
 F_{v4}^\xi &= \frac{3V_\xi V_\xi'}{2\pi^2 F_\pi^2} m_\xi \{ 2v'_b m_\xi^2 (C_{21} + C_{22} - C_{23}) + 2a'_b m_c^2 (C_{23} - C_{22}) + \\
 &\quad k/2 [m_\xi^2 (C_{12}^* - C_{11}^* - 2C_{23}^* + 2C_{22}^*) - m_\xi^2 (C_0^* + 3C_{12}^* + 2C_{22}^*)] \} \\
 F_{v5}^\xi &= \frac{3V_\xi V_\xi'}{2\pi^2 F_\pi^2} m_\xi^2 m_c \{ 2a'_b (C_{22} - C_{23}) - k(2C_{22}^* - C_{12}^* - 2C_{23}^*)/2 \} \\
 F_{v6}^\xi &= \frac{3V_\xi V_\xi'}{2\pi^2 F_\pi^2} m_\xi \{ 2v'_b m_\xi^2 (C_{22} - C_{23}) + 2a'_b (m_\xi^2 C_{12} - m_c^2 C_{12} - m_c^2 C_{22}) + \\
 &\quad k/2 [m_\xi^2 (C_0^* + 2C_{11}^* - C_{12}^* - 2C_{22}^* + 2C_{23}^*) - \\
 &\quad m_c^2 (C_{12}^* - C_{11}^* - 2C_{21}^* - 2C_{22}^* + 4C_{23}^*)] \}
 \end{aligned}$$

其中  $\xi = b, s$ .

### 附录 B: top 介子部分的形状因子 $F'_{vi}$

通过计算图 1 中 top 介子的贡献,可以得到形状因子  $F'_{vi}$  的表达式为

$$\begin{aligned}
 F'_{v1}^\xi &= \frac{V_\xi V_\xi'}{2\pi^2 F_\pi^2} \left\{ \frac{a'_c}{m_\xi^2 - m_c^2} [m_\xi^3 m_\xi (B_0 - B_1) - m_\xi^2 m_\xi B'_0 + m_\xi m_\xi m_c^2 B'_1] + \right. \\
 &\quad m_\xi m_\xi v'_b [-2C_{24} + m_\xi^2 (2C_{12} - 2C_{11}) - m_c^2 C_{12} - m_\xi^2 C_{21} - \\
 &\quad sC_{22} - (m_\xi^2 - s)C_{23}] + km_\xi m_c C_{24}^* \left. \right\} \\
 F'_{v2}^\xi &= \frac{V_\xi V_\xi'}{2\pi^2 F_\pi^2} \left\{ \frac{v'_c}{m_\xi^2 - m_c^2} m_\xi^2 m_\xi m_c (B_0 - B_1 - B'_0 + B'_1) + \right. \\
 &\quad m_\xi^2 m_\xi m_c [v'_b (C_{12} - C_{11}) - a'_b C_{12}] \left. \right\} \\
 F'_{v3}^\xi &= \frac{V_\xi V_\xi'}{2\pi^2 F_\pi^2} \{ 2m_\xi m_\xi m_c v'_b (C_{23} - C_{22}) + km_\xi m_\xi m_c (C_{11}^* - C_{12}^* - 2C_{22}^* + 2C_{23}^*) \}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
F'_{\bar{u}}^{\xi} &= \frac{V_{\xi} V_{\xi}^{\prime}}{2\pi^2 F_{\Pi}^2} \{ 2m_{\bar{t}} m_{\xi} v'_b (2C_{12} - 2C_{11} + 2C_{23} - C_{22} - C_{21}) - \\
&\quad km_{\bar{t}}^2 m_{\xi} (C_0^* + C_{12}^* - 2C_{22}^*) \} \\
F'_{\bar{d}}^{\xi} &= \frac{V_{\xi} V_{\xi}^{\prime}}{2\pi^2 F_{\Pi}^2} \{ m_{\bar{t}} m_{\xi} m_c v'_b (C_{22} + C_{12}) + \\
&\quad km_{\bar{t}} m_{\xi} m_c (C_{12}^* - C_{11}^* - 2C_{21}^* - 2C_{22}^* + 4C_{23}^*) \} \\
F'_{\bar{v}}^{\xi} &= \frac{V_{\xi} V_{\xi}^{\prime}}{2\pi^2 F_{\Pi}^2} \{ 2m_{\bar{t}}^2 m_{\xi} v'_b (3C_0 - C_{22} + C_{23} + 2C_{11}) - 2m_{\bar{t}} m_{\xi}^2 v'_b (C_0 + C_{12}) + \\
&\quad 2m_{\xi} m_{\bar{t}}^2 a'_b C_{12} + km_{\xi} m_{\bar{t}}^2 (C_0^* + 2C_{11}^* - 3C_{12}^* - 2C_{22}^* - 2C_{23}^*) \}
\end{aligned}$$

其中  $\xi = b, s$ .

在附录 A 和 B 中,  $a'_c = -s_w^2/(3s_w c_w)$ ,  $v'_c = (1 - 4s_w^2/3)/(4s_w c_w)$ ,  $a'_b = (-1 + 2s_w^2/3)/(4s_w c_w)$ ,  $v'_b = s_w^2/(6s_w c_w)$ ,  $m_{\xi}$  分别表示  $s$  夸克和  $b$  夸克的质量.  $B_i = B_i(m_{\bar{t}}, \sqrt{s}, m_{\xi}, m_{p_8})$ ,  $B'_i = B_i(m_c, \sqrt{s}, m_{\xi}, m_{p_8})$ ,  $C_{ij} = C_{ij}(m_{\bar{t}}, \sqrt{s}, m_{p_8}, m_{\xi}, m_{\xi})$ ,  $C'_{ij} = C_{ij}(m_c, \sqrt{s}, m_{\xi}, m_{p_8}, m_{p_8})$ . 在 top 色部分, 上述标量积分中的参数  $m_{p_8}$  应代换为  $m_{\Pi}$ .

## Process $e^+e^- \rightarrow \bar{t}c$ in Topcolor-Assisted Technicolor Model\*

LU GongRu GUO HongKai YUE ChongXing XIAO ZhenJun

(Department of Physics, Henan Normal University, Xinxiang 453002, China)

**Abstract** We calculated the Pseudo Goldstone boson correction to  $e^+e^- \rightarrow \bar{t}c$  process at the energy  $\sqrt{s} = 500$  GeV in topcolor-assisted technicolor model. We find that the total contribution is larger than the standard model results by as much as 1 to 2 orders, i. e. the production cross section  $\sigma(e^+e^- \rightarrow \bar{t}c)$  can be as large as  $10^{-37}$  cm<sup>2</sup> within the considered parameter space. So It may be observable at future  $e^+e^-$  collider.

**Key words** top quark, technicolor model, toppions

Received 2 July 1999

\* Supported by National Natural Science Foundation of China (19575015, 19775012)