

TC2 模型下底夸克对产生的研究*

鲁公儒¹ 黄金书² 吕刚¹

1 (河南师范大学物理与信息工程学院 新乡 453007)

2 (南阳师范学院物理系 南阳 473061)

摘要 在顶色辅助的 technicolor 模型下, 计算了来自赝标哥得斯通玻色子和新规范玻色子对 $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}$ 的截面贡献. 发现由 technipions 和新规范玻色子产生截面的修正足够小以至于可以忽略, 在合理的参数范围内, top pions 起主要作用, 在质心能量 $\sqrt{s}=500\text{GeV}$, 修正的最大值可以达到 43%; 在 $\sqrt{s}=1500\text{GeV}$, 最大的相对修正却只有 3.1%. 这为我们在下一代直线对撞机实验中探测顶色辅助的 technicolor 模型下 (TC2 模型) 提供了可行的方法.

关键词 顶色辅助的 technicolor 模型 赝标哥得斯通玻色子 规范玻色子 底夸克 截面

1 引言

尽管粒子物理的标准模型(SM)已经得到了实验的精确检验, 但黑格子粒子仍然没有被发现, 电弱对称性破缺机制(EWSB)还是一个被广泛讨论的问题. technicolor 理论^[1, 2]是标准模型之外探测新物理重要的候选者之一, 特别是最早的顶色辅助的 technicolor (TOPCTC) 模型^[3]和顶色辅助的多标度 technicolor (TOPCMTC) 模型^[4], 是更现实的候选者, 由于这种模型能对这些问题提供合理的解释, 所以引起了人们很大的兴趣. 虽然这种模型在直线对撞机和强子对撞机如何检验的问题很多已经被研究过^[5-7], 但是他们主要研究了中性的赝标哥得斯通玻色子 (PGBs). 这里讨论的是带电的哥得斯通玻色子 (PGBs) 和新的规范玻色子.

目前各种高能对撞机上都能产生底夸克对, 在下一代直线对撞机上将产生足够多的底夸克对, 而且产生事例的背景非常的清晰. 我们期望在将来达到 TeV 能量的正负电子对撞机上通过 $b\bar{b}$ 的产生来检验 technicolor 的影响效果. 在第二部分, 对顶色辅助的 technicolor 模型进行了回顾. 第三部分, 分别给出了在质心能量 $\sqrt{s}=0.5, 1.0$ 和 1.5TeV 下 TOPCTC 模型对 $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}$ 产生截面的修正. 对比了 PGBs 和新规范玻色子的影响. 讨论和结论在第四部分给出. 附录 A

和 B 中给出了产生振幅的形状因子的具体形式.

2 顶色辅助的 technicolor 模型

首先讨论由 C.T.Hill 提出的 TOPCTC 模型^[3], 这种模型假定^[3, 8]: (i) 电弱对称性破缺主要有 extended technicolor (ETC) 相互作用提供; (ii) 顶夸克的质量主要由新的强动力学作用提供 $(1-\varepsilon)m_t$, 而 ETC 作用提供很小的一部分 εm_t ($\varepsilon \approx 0.03 \sim 0.1$); (iii) 新的强动力学具有很强的手征性, 在 technicolor 标度 $\sim 1\text{TeV}$ 自发破缺, 且与第三代费米子优先耦合, 因此需要加入一种顶色相互作用 (TOPC), 这种动力学机制在 $\sim 1\text{TeV}$ 标度包含下列规范结构:

$$SU(3)_1 \times SU(3)_2 \times U(1)_{Y_1} \times U(1)_{Y_2} \rightarrow SU(3)_{\text{QCD}} \times U(1)_{\text{EM}}, \quad (1)$$

其中 $SU(3)_1 \times U(1)_{Y_1} [SU(3)_2 \times U(1)_{Y_2}]$ 一般与第三代 (第一和第二代) 费米子有较强的耦合, 与 $U(1)_{Y_1}$ 有足够强的作用形成手征 $\langle t\bar{t} \rangle$ 而不是 $\langle b\bar{b} \rangle$ 凝聚. 保存下来的整体对称性是 $SU(3) \times U(1)$, 同时产生有质量的色单态 Z' 和色八重态 B_μ^A . 以上的对称性破缺在顶夸克质量标度附近将产生 3 个 TOP 介子, 中性 π_t^0 和带电的 π_t^\pm .

由顶色相互作用产生新的耦合 $Z'e^+e^-$, $Z'b\bar{b}$, 对

2006 - 04 - 21 收稿

* 河南自然科学基金(03110127000), 河南省教育委员会科学基金(20040601010)和国家自然科学基金(10575029)资助

过程 $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}$ 可以被写成

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2}g_1 \tan\theta' \gamma^\nu L + g_1 \tan\theta' \gamma^\nu R, \\ & \frac{1}{6}g_1 \cot\theta' \gamma^\mu L - \frac{1}{3}g_1 \cot\theta' \gamma^\mu R \end{aligned} \quad (2)$$

上式 $L, R = (1 \mp \gamma_5)/2$, 分别代表左手和右手算符, $g_1 =$

$$\begin{aligned} & -\frac{\varepsilon m_t}{16\pi f_\pi} \frac{e}{s_W c_W} \gamma_\mu \left\{ \left[\frac{2N_C}{N_{TC}+1} \xi_t^{-1} (1 - \xi_e \xi_\nu) \xi_e - (10\varepsilon)^{-2/3} \xi_e^2 \right] L - \left[\frac{2N_C}{N_{TC}+1} (\xi_e \xi_\nu) \xi_t^{-1} (1 - \xi_e \xi_\nu) \xi_e^{-1} \right] R \right\}, \\ & -\frac{\varepsilon m_t}{16\pi f_\pi} \frac{e}{s_W c_W} \gamma_\mu \left[\frac{N_C}{N_{TC}+1} \xi_t (\xi_t^{-1} + \xi_b) - \xi_t^2 \right] L. \end{aligned} \quad (3)$$

上式 N_{TC} 和 N_C 是 technicolors 数和普通的色数; $s_W = \sin\theta_W$, $c_W = \cos\theta_W$, θ_W 是温伯格角; ξ_t , ξ_e 和 ξ_ν 是与 ETC 规范群联系的耦合系数. 根据文献 [9], 取 $\xi_t = \xi_e = 1/\sqrt{2}$, $\xi_\nu = 0.1\xi_e^{-1}$, $\xi_b = 0.028\xi_t^{-1}$.

根据 TOPCTC, 第一代和第二代夸克的质量都是由 ETC 相互作用产生的, 不同的 ξ_U 和 ξ_D 产生了 charm 和 strange 夸克不同的质量^[4, 9]. 因此 $m_{t1} = (m_c/m_s)m_{b1}$, 其中 m_{t1} 和 m_{b1} 是 ETC 相互作用产生的顶夸克和底夸克的质量. 由于 $m_s = 0.18\text{GeV}$, $m_c = 1.5\text{GeV}$, 得到 $m_{t1} \simeq 10m_{b1}$. 这种模型中, ETC 势产生 60 个 technipions 介子 ($f_\pi = 123\text{GeV}$), TOPC 势产生 3 个 TOP 介子 π_t^0 , π_t^\pm ($f_{\pi_t} = 50\text{GeV}$). ETC 势是一代 technicolor 模型中产生的^[2], 在 60 个 technipions 介子中色单态 π 和色八重态 π_8 被广泛的研究, 色单态 π 包括同位旋单态 π^0 和三重态 (π^\pm, π^3), 而色八重态 π_8 包括同位旋单态 π_8^0 和三重态 (π_8^\pm, π_8^3), 这些 PGBs 与顶夸克 (底夸克) 的耦合在^[2, 10] 给出:

$$\begin{aligned} & \frac{ic_t}{\sqrt{2}f_\pi} [m_t \bar{t} \gamma_5 t \pi^0 + m_b \bar{b} \gamma_5 b \pi^0 + m_t \bar{t} \gamma_5 t \pi^3 + m_b \bar{b} \gamma_5 b \pi^3 + \\ & \sqrt{2}V_{tb} \bar{t} (m_b R - m_t L) b \pi^+ + \sqrt{2}V_{tb} \bar{b} (m_t R - m_b L) t \pi^-], \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} & \frac{i\lambda^a}{\sqrt{2}f_\pi} [m_t \bar{t} \gamma_5 t \pi_8^0 + m_b \bar{b} \gamma_5 b \pi_8^0 + m_t \bar{t} \gamma_5 t \pi_8^3 + m_b \bar{b} \gamma_5 b \pi_8^3 + \\ & \sqrt{2}V_{tb} \bar{t} (m_b R - m_t L) b \pi_8^+ + \sqrt{2}V_{tb} \bar{b} (m_t R - m_b L) t \pi_8^-], \end{aligned} \quad (5)$$

系数 $c_t = 1/\sqrt{6}$, λ^a 为盖儿曼矩阵, 这种模型中 $m_t \rightarrow m_{t1} = \varepsilon m_t$, $m_b \rightarrow m_{b1} = 0.1m_{t1}$.

top pions 与顶夸克和底夸克的相互作用有如下的形式:

$$\frac{i}{f_{\pi_t}} \left[\frac{1}{\sqrt{2}} m_{t2} \bar{t} \gamma_5 t \pi_t^0 + \frac{1}{\sqrt{2}} m_{b2} \bar{b} \gamma_5 b \pi_t^0 + V_{tb} \bar{t} (m_{t2} L + m_{b2} R) b \pi_t^+ + V_{tb} \bar{b} (m_{t2} R + m_{b2} L) t \pi_t^- \right], \quad (6)$$

$\alpha_{EM}/\cos\theta_W$ 表示在标度 $\sim 1\text{TeV}$ 的 $U(1)_Y$ 耦合常数.

这种模型包含旁路和对角的 ETC 规范玻色子 Z^* . Z^* 与费米子和 technifermions 的耦合在文献 [9] 中给出. 为了简化, 假设旁路规范玻色子与对角规范玻色子的质量相等用 m_{Z^*} 来表示, 因此由 ETC 动力学引起的 $Z^*e^+e^-$ 和 $Z^*b\bar{b}$ 耦合可以写成

其中 $m_{t2} = (1 - \varepsilon)m_t$, $m_{b2} = m_b - m_{b1}$ 代表由 TOPC 相互作用产生的顶夸克和底夸克的质量. 计算中需要的费曼规则在文献 [3, 10] 中可以找到.

顶色辅助的多标度 technicolor 模型 (TOPCMTC)^[4], 与起初主要由 ETC 势产生的 TOPCTC 模型是有区别的. 最早的 TOPCTC 模型, ETC 势是一代 technicolor 模型产生的, 在方程 (4) 中 $f_\pi = 123\text{GeV}$, $N_{TC} = 4$ 和 $c_t = 1/\sqrt{6}$, 但是在 TOPCMTC 模型中 ETC 势是多标度走动的 technicolor 模型^[11], 且 $f_\pi = 40\text{GeV}$, $N_{TC} = 6$ 和 $c_t = 2/\sqrt{6}$.

3 $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}$ 的截面修正

3.1 PGBs 的贡献

由 PGBs 对 $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}$ 产生截面修正的相关的费曼图在图 1(b)–(e). 在我们的计算中, 采用了维数正规化及费曼规范和质壳重整化方法来消除所有的圈图修正中的紫外发散项^[12]. $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}$ 的重整化振幅包括

$$M = M^{\text{tree}} + \Delta M, \quad (7)$$

其中树图的振幅:

$$\begin{aligned} M^{\text{tree}} &= \bar{u}(b) i e \gamma^\mu [v_b (1 + \gamma_5) + a_b (1 - \gamma_5)] v(\bar{b}) \times \\ & \frac{-i g_{\mu\nu}}{(P_b + P_{\bar{b}})^2 - m_Z^2} \bar{v}(e^+) i e \gamma^\nu [v_e (1 + \gamma_5) + \\ & a_e (1 - \gamma_5)] u(e^-) + \bar{u}(b) \left(-i \frac{1}{3} e \right) \gamma^\mu v(\bar{b}) \times \\ & \frac{-i g_{\mu\nu}}{(P_b + P_{\bar{b}})^2} \bar{v}(e^+) (-i e) \gamma^\nu u(e^-). \end{aligned} \quad (8)$$

这里 $P_{b,\bar{b}}$ 表示产生的底夸克对的动量, ΔM 代表 PGBs 的单圈修正, 包含

$$\Delta M = \Delta M_Z + \Delta M_\gamma, \quad (9)$$

$$\Delta M_Z = \bar{u}(b)\Gamma_Z v(\bar{b}) \frac{-ig_{\mu\nu}}{(P_b + P_{\bar{b}})^2 - m_Z^2} \bar{v}(e^+)ie\gamma^\nu \times [v_e(1 + \gamma_5) + a_e(1 - \gamma_5)]u(e^-), \quad (10)$$

$$\Delta M_\gamma = \Delta M_Z \Big|_{Z \rightarrow \gamma, m_Z=0, v_b=a_b=-1/6, v_e=a_e=-1/2}, \quad (11)$$

其中

$$v_b = \frac{(2/3)s_W^2}{4s_W c_W}, \quad a_b = \frac{-1 + (2/3)s_W^2}{4s_W c_W},$$

$$v_e = \frac{2s_W^2}{4s_W c_W}, \quad a_e = \frac{1 - 2s_W^2}{4s_W c_W}. \quad (12)$$

Γ_Z, Γ_γ 是由 PGBs 产生的有效顶角 $Zb\bar{b}$ 和 $\gamma b\bar{b}$ 且

$$\Gamma_Z = ie[\gamma^\mu LF_{1Z} + \gamma^\mu RF_{2Z} + P_b^\mu LF_{3Z} + P_b^\mu RF_{4Z} + P_b^\mu LF_{5Z} + P_b^\mu RF_{6Z}], \quad (13)$$

$$\Gamma_\gamma = \Gamma_Z \Big|_{F_{iZ} \rightarrow F_{i\gamma}}. \quad (14)$$

$\Gamma_{iZ}, \Gamma_{i\gamma}$ 分别代表两点和三点标量积分. 由色八重态 technipions 和 top pions 产生的 $\Gamma_{iZ}, \Gamma_{i\gamma}$ 在附录 A 和 B 中给出, 已经把有效顶角中所有的紫外发散都消除了.

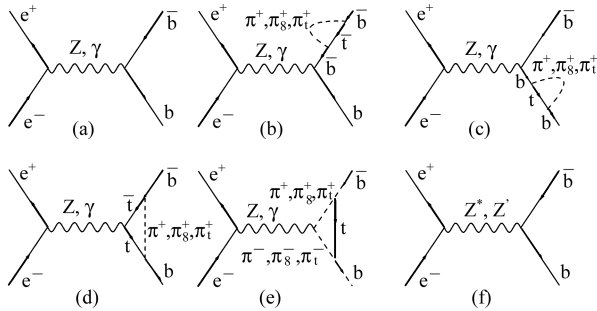


图 1 PGB 和新规范玻色子在 $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}$ 过程中的费曼图

(a) 树图; (b), (c) 自能图; (d), (e) 顶角图; (f) 规范玻色子 Z^* 和 Z' 的修正图.

色单态 technipions 对 $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}$ 的贡献与色八重态 technipions 相比相差 18 倍的因子. 因此, 由色单态 technipions 对这过程产生的振幅至少比色八重态小 2 个量级. 因此在计算中忽略了色单态 technipion 的贡献.

$e^+e^- \rightarrow b\bar{b}$ 的微分截面为

$$d\sigma = \frac{(2\pi)^4 \delta^4(P_{e^+} + P_{e^-} - P_b - P_{\bar{b}})}{4\sqrt{(P_{e^+} P_{e^-})^2 - (m_{e^+} m_{e^-})^2}} \times \sum_{\text{spins}} |M|^2 \frac{d^3 P_b}{(2\pi)^3 2E_b} \frac{d^3 P_{\bar{b}}}{(2\pi)^3 2E_{\bar{b}}}, \quad (15)$$

对相空间积分, 得到总的截面:

$$\sigma = \frac{\sqrt{s(s-4m_b^2)}}{32\pi s^2} \int_{-1}^1 \sum_{\text{spins}} |M|^2 d\cos\theta = \sigma_0 + \Delta\sigma, \quad (16)$$

σ_0 代表树图的总截面, $\Delta\sigma$ 表示单圈 PGBs 的 Yukawa 修正.

由上述方程, 计算了由 PGBs 引起的对截面 σ 的相对修正. 由于 ETC 势是由一代 technicolor 模型中产生的, 因此 PGBs 的质量是与模型有关的. 在文献 [2] 中, π 和 π_8 的质量变化范围是 $100\text{GeV} < m_\pi < 300\text{GeV}$, $200\text{GeV} < m_{\pi_8} < 500\text{GeV}$. 在 TOPC 势中, top pion 的质量 m_{π_t} 在合理的参数值范围内大约是 200GeV . 在下列的计算中, 我们取更大的范围 $150\text{GeV} < m_{\pi_t} < 500\text{GeV}$ 来看它的影响, 同时取 m_{π_8} 为 246GeV . 最后的计算结果用图形表示为图 2—图 5.

首先, 看在 ETC 势中色八重态 technipions 对于 $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}$ 的贡献, 当 $m_{\pi_8}=246\text{GeV}$ 时从图 2 中 $\Delta\sigma/\sigma_0$ 随 ε 变化的图形可以看到 (i) 相对修正 $\Delta\sigma/\sigma_0$ 随 ε 敏感的增加, (ii) 当 $\varepsilon=0.1$, $\sqrt{s}=1.0\text{TeV}$, 相对修正的最大值达到 0.75%.

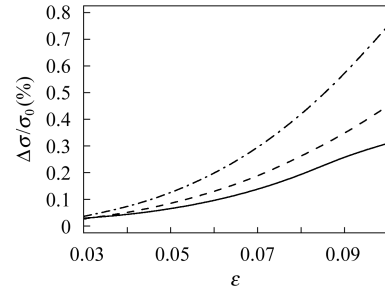


图 2 在 $m_{\pi_8}=246\text{GeV}$, 色八重态 technipions 对 $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}$ 产生的相对修正随 ε 变化的曲线. 固体线, 点虚线, 虚线分别表示 $\sqrt{s}=0.5, 1.0$ 和 1.5TeV 时修正的变化曲线.

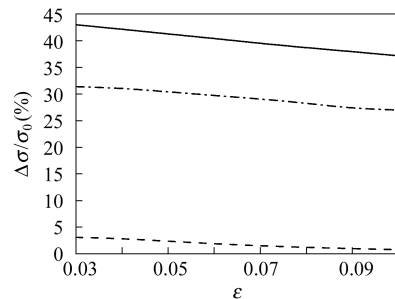


图 3 除了 top pion 的质量变为 $m_{\pi_t}=220\text{GeV}$ 外, 其余量与图 2 表示的一样

接下来看一下来自 TOPC 势的 top pions 产生的修正, 除了 top pions 的质量取 $m_{\pi_t}=220\text{GeV}$, 图 3 与图 2 其他取值基本是一样的, 从这幅图中, 可以看出: (i) 当 ε 增加时, $\Delta\sigma/\sigma_0$ 缓慢地减少. (ii) 当 \sqrt{s} 迅速增加时, 相对修正 $\Delta\sigma/\sigma_0$ 却下降. (iii) 在 $\sqrt{s}=0.5\text{TeV}$, 取 $\varepsilon=0.03$ 时相对修正的最大值可以达到 43.0%. 其中衰变常数 f_{π_t} 很小, 顶夸克和底夸克的质量主要由 TOP

相互作用产生, 虽然 technipion 和 toppion 的质量相差很小, 由 TOPC 势产生的截面贡献却比 ETC 势大得多, 我们认为原因是 top pions 与第三代费米子的耦合是非普适的且有较大的 Yukawa 耦合.

在图 4 中画出了在 $\varepsilon=0.07$ 时 $\Delta\sigma/\sigma_0$ 随 m_{π_t} 变化的图形. 当 $\sqrt{s}=0.5\text{TeV}$, 相对修正随着 m_{π_t} 从 45.2% 下降到 19.1%. 然而, 当 $\sqrt{s}=1.0\text{TeV}$ 却随 m_{π_t} 先增加, 后减少, 不过在 $\sqrt{s}=1.5\text{TeV}$ 时却一直迅速的增长.

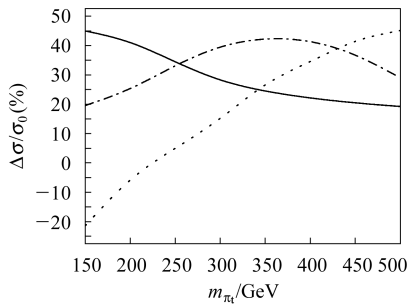


图 4 $\Delta\sigma/\sigma_0$ 与 m_{π_t} 在 $\varepsilon=0.07$ 时的变化关系
 固体线, 点虚线, 虚线分别表示 $\sqrt{s}=0.5, 1.0$ 和 1.5TeV 时变化的曲线.

根据 TOPCTC 原理, technipions 和 top pions 同时存在而且同时起作用, 物理的结果应该是 ETC 势和 TOPC 势共同作用的结果. 因此在图 5 中画出了在 $m_{\pi_s}=246\text{GeV}$ 和 $m_{\pi_t}=220\text{GeV}$ 时由色八重态 technipions 和 top pions 对 $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}$ 随 ε 总的修正的变化曲线. 由 technipion 引起的修正与 top pion 相比非常小可以忽略, 总的贡献与 top pion 引起的修正 (从图 3 可以看出) 相比几乎是一样的.

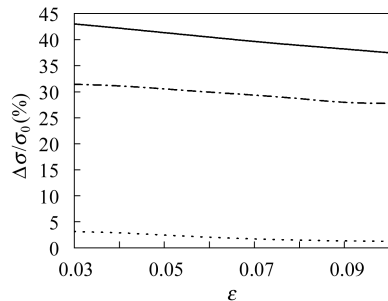


图 5 当 $m_{\pi_s}=246\text{GeV}$ 和 $m_{\pi_t}=220\text{GeV}$ 时, 由色八重态 technipions 和 top pions 对 $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}$ 总的修正随 ε 变化的曲线
 固体线, 点虚线, 虚线分别表示 $\sqrt{s}=0.5, 1.0$ 和 1.5TeV 时的图形.

3.2 新规范玻色子的修正贡献

我们来考虑新规范玻色子对 $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}$ 产生截面的贡献.

在 TOPCTC 理论中, 存在两种新的规范玻色子: 一种是包含旁路和对角的 ETC 规范玻色子 Z^* , 另一种是包含色八重态 B_μ 和色单态 Z' 的 TOPC 规范玻色子, 其中只有 ETC 势中的 Z^* 和 TOPC 势中的 Z' 对 $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}$ 有贡献, 在图 1(f) 中给出它们的费曼图.

应用 (2) 式和 (3) 式能够得到新规范玻色子的影响, ETC 规范玻色子对 $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}$ 产生的截面随 ε 和 \sqrt{s} 迅速的增长, 随 m_{Z^*} 缓慢地下降, 但是相对修正的最大值 σ_{Z^*}/σ_0 在 ε, \sqrt{s} 和 m_{Z^*} 合理的参数空间内只在 10^{-14} 的量级, 因此它的贡献可以被忽略.

再来看 Z' 的贡献, 很明显它对 $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}$ 的截面的贡献与 θ' 是无关的 (从方程 (2) 可以看出), 在计算中, 假定规范玻色子 Z' 的质量变化从 300GeV 到 1000GeV 来研究 Z' 的影响, 计算结果在图 6 中用曲线来表示, 从图中可以看出除了在 Z' 的共振区域, 相对修正 $\sigma_{Z'}/\sigma_0$ 是负的且不到百分之一, 因此它的贡献也是可以忽略的.

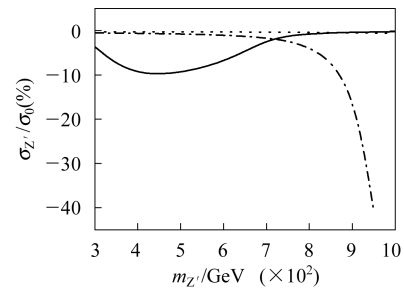


图 6 规范玻色子 Z' 产生的相对修正 $\sigma_{Z'}/\sigma_0$ 随 $m_{Z'}$ 的变化曲线图
 固体线, 点虚线, 虚线分别表示 $\sqrt{s}=0.5, 1.0$ 和 1.5TeV 时的修正变化曲线.

顶色辅助的多标度 technicolor 模型 (TOPCMTC), 与最早的顶色辅助的 technicolor 模型 (TOPCTC) 的主要区别是 ETC 部分. 在这种模型中, 产生的修正与最早的顶色辅助的 technicolor 模型 (TOPCTC) 是相似的, 来自 PGBs 的贡献比其他的稍大一些. 新规范玻色子 Z' 的贡献与最早的顶色辅助的 technicolor 模型 (TOPCTC) 是一样的, ETC 规范玻色子 Z^* 产生的修正很小可以忽略.

4 讨论和结论

本文在顶色辅助的 technicolor 模型中, 讨论了赝标哥得斯通玻色子和新的规范玻色子在 $\sqrt{s}=0.5, 1.0$ 和 1.5TeV 能量的 e^+e^- 对撞机上产生 $b\bar{b}$ 截面的贡献, 我们发现在合理的参数空间内, 来自于 technipions 和新规范玻色子产生的修正非常的小是可以忽略的, top

pions起主要作用,在质心能量 $\sqrt{s}=500\text{GeV}$ 下,最大的修正可以达到43.0%,因此,我们认为在将来的对

撞机实验中 $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}$ 过程对检验标准模型和寻找technicolor模型的迹象是很有意义的.

参考文献(References)

- 1 Weinberg S. Phys. Rev., 1976, **D13**: 974; 1979, **D19**: 1277; Susskind L. Phys. Rev., 1979, **D20**: 2619
- 2 Dimopoulos S, Susskind L. Nucl. Phys., 1979, **B155**: 237; Eichten E, Lane K. Phys. Lett., 1980, **B90**: 125; Farhi E, Susskind L. Phys. Rep., 1981, **74**: 277; Eills J et al. Nucl. Phys., 1981, **B182**: 529
- 3 Hill C T. Phys. Lett., 1995, **B345**: 483
- 4 Lane K. Phys. Lett., 1995, **B357**: 624; YUE C X et al. Phys. Rev., 1997, **D55**: 5541
- 5 CAO J J, XIONG Z H, YANG J M. Phys. Rev., 2003, **D67**: 071701
- 6 WANG X L et al. Phys. Rev., 2002, **D66**: 075009; 2003, **D67**: 035005; 2003, **D68**: 115003; YUE C X et al. Phys. Lett., 2000, **B496**: 93; Phys. Rev., 2002, **D65**: 095010; Phys. Lett., 2003, **B575**: 25; CAO J J, LIU G L, YANG J M. hep-ph/0311166
- 7 YUE C X et al. Phys. Lett., 2002, **B525**: 301; J. Phys., 2003, **G29**: 2145
- 8 Lane K, Eichten E. Phys. Lett., 1995, **B352**: 382; Lane K. Phys. Rev., 1996, **D54**: 2204; Phys. Lett., 1998, **B433**: 96; LU G R, XIONG Z H, CAO Y G. Nucl. Phys., 1997, **B487**: 43; XIAO Z J et al. Eur. Phys. J., 2001, **C18**: 681
- 9 WU G H. Phys. Rev. Lett., 1995, **74**: 4317; Hagiwara K, Kitazawa N. Phys. Rev., 1995, **D52**: 5374; YUE C X, KUANG Y P, LU G R. J. Phys., 1997, **G23**: 163
- 10 Kaul R K. Rev. Mod. Phys., 1983, **55**: 449; Eichten E et al. Phys. Rev., 1986, **D34**: 1547; Labicz V. Nucl. Phys., 1993, **B404**: 559; Eichten E et al. Rev. Mod. Phys., 1984, **56**: 650
- 11 Lane K, Eichten E. Phys. Lett., 1989, **B222**: 274; Lane K, Ramana M V. Phys. Rev., 1991, **D44**: 2678
- 12 Bohm M, Hollik W, Spiesberger H. Fortschr Phys., 1986, **34**: 687; Hollik W. ibid., 1990, **38**: 165; Grzad B, Hollik W. Nucl. Phys., 1992, **B384**: 101
- 13 Clements M et al. Phys. Rev., 1983, **D27**: 570; Axelrod A. Nucl. Phys., 1982, **B209**: 349; Passarino G, Veltman M. Nucl. Phys., 1979, **B160**: 151

附录 A 由色八重态 technipion 产生的形状因子

色八重态 technipion 贡献的形式 F_{iV} 可以表示为

$$F_{1V} = \frac{3}{2\pi^2 f_\pi^2} \{k_1^V m_{t1}^2 [-2C_{24} + m_{\pi_8}^2 C_0 + B_0(-\sqrt{s}, m_{t1}, m_{t1})] + k_2^V [m_{t1}^2 m_{b1}^2 (2C_0 + C_{11} - m_{t1}^4 C_0 - m_{b1}^4 (C_0 + C_{11}))] + m_{t1}^2 k_4^V [(B_1(m_{b1}, m_{t1}, m_{\pi_8}) + m_{b1}^2 B'_1(m_{b1}, m_{t1}, m_{\pi_8})) - k_5^V m_{t1}^2 C_{24}^*]\}, \quad (\text{A1})$$

$$F_{2V} = \frac{3}{2\pi^2 f_\pi^2} \{k_2^V [m_{t1}^2 m_{b1}^2 (-C_{11}) + m_{b1}^4 C_{11} + m_{b1}^2 m_{\pi_8}^2 C_0 + m_{b1}^2 B_0(-\sqrt{s}, m_{t1}, m_{t1}) - 2m_{b1}^2 C_{24}] - k_5^V m_{b1}^2 C_{24}^* + m_{b1}^2 m_{t1}^2 k_3^V B'_1(m_{b1}, m_{t1}, m_{\pi_8})\}, \quad (\text{A2})$$

$$F_{3V} = \frac{3}{2\pi^2 f_\pi^2} \{2m_{t1}^2 m_{b1} k_1^V (C_{23} - C_{22}) + 2k_2^V [m_{t1}^2 m_{b1} (C_{12} - C_{11}) + m_{b1}^3 (C_{21} + C_{22} - 2C_{23} + C_{11} - C_{12})] + \frac{1}{2} k_5^V [m_{t1}^2 m_{b1} (C_0^* + C_{12}^* + C_{11}^* - 2C_{22}^* + 2C_{23}^*) + m_{b1}^3 (C_{12}^* + 2C_{22}^*)]\}, \quad (\text{A3})$$

$$F_{4V} = \frac{3}{2\pi^2 f_\pi^2} \{2m_{t1}^2 m_{b1} k_1^V (C_{21} + C_{22} - 2C_{23}) + 2m_{b1}^3 k_2^V (C_{23} - C_{22}) + \frac{1}{2} k_5^V [m_{t1}^2 m_{b1} (C_0^* + 3C_{12}^* + 2C_{22}^*) + m_{b1}^3 (C_{11}^* - C_{12}^* - 2C_{22}^* + 2C_{23}^*)]\}, \quad (\text{A4})$$

$$F_{5V} = \frac{3}{2\pi^2 f_\pi^2} \{2k_1^V m_{t1}^2 m_{b1} (-C_{22}) + 2k_2^V m_{b1}^3 (C_{22} - C_{23}) - \frac{1}{2} k_5^V [m_{t1}^2 m_{b1} (C_0^* + 3C_{11}^* - 3C_{12}^* + 2C_{21}^* + 2C_{22}^* - 4C_{23}^*) + m_{b1}^3 (C_{12}^* - 2C_{22}^* + 2C_{23}^*)]\}, \quad (\text{A5})$$

$$F_{6V} = \frac{3}{2\pi^2 f_\pi^2} \{2k_1^V [m_{t1}^2 m_{b1} (C_{22} - C_{23})] + 2k_2^V [m_{b1}^3 (-C_{22} - C_{12}) + m_{t1}^2 m_{b1} C_{12}] - \frac{1}{2} k_5^V [m_{t1}^2 m_{b1} (C_0^* + 2C_{11}^* - C_{12}^* - 2C_{22}^* + 2C_{23}^*) - m_{b1}^3 (C_{12}^* - C_{11}^* - 2C_{21}^* - 2C_{22}^* + 4C_{23}^*)]\}, \quad (\text{A6})$$

其中

$$\begin{pmatrix} k_1^Z & k_1^Y \\ k_2^Z & k_2^Y \\ k_3^Z & k_3^Y \\ k_4^Z & k_4^Y \\ k_5^Z & k_5^Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{4}{3}s_w^2 & & & & \\ & 1/3 & & & \\ & & 1 - \frac{4}{3}s_w^2 & & \\ & & & 1/3 & \\ & & & & -1/6 \\ & & & & & -1/6 \\ & & & & & & 1 \end{pmatrix}, \quad (\text{A7})$$

$C_{ij} = C_{ij}(m_{b1}, -\sqrt{s}, m_{\pi_8}, m_{t1}, m_{t1})$, $C_{ij}^* = C_{ij}(m_{b1}, \sqrt{s}, m_{t1}, m_{\pi_8}, m_{\pi_8})$; $B_i' = \frac{\partial B_i}{\partial P_b^2} \Big|_{P_b^2 = m_{b1}^2}$. 基本的两点和三点标量积分在文献 [13] 中可以得到.

附录 B 由 top pion 产生的形状因子

top pion 贡献的形式因子 F_{iV} 为

$$F_{1V} = \frac{1}{8\pi^2 f_{\pi_t}^2} \{ m_{t2}^2 k_1^V [2C_{24} - 2m_{b2}^2 C_{11} - B_0(-\sqrt{s}, m_{t2}, m_{t2}) - m_{\pi_t}^2 C_0] + m_{b2}^4 k_2^V (C_0 + C_{11}) + m_{t2}^2 m_{b2}^2 k_2^V (2C_0 + C_{11}) + m_{t2}^4 k_2^V C_0 + m_{t2}^2 k_5^V C_{24}^* - m_{t2}^2 k_4^V [B_1(m_{b2}, m_{t2}, m_{\pi_t}) + m_{b2}^2 B_1'(m_{b2}, m_{t2}, m_{\pi_t})] \}, \quad (\text{B1})$$

$$F_{2V} = \frac{1}{8\pi^2 f_{\pi_t}^2} \{ k_2^V [2m_{b2}^2 C_{24} - m_{b2}^4 C_{11} - m_{b2}^2 B_0(-\sqrt{s}, m_{t2}, m_{t2}) - m_{b2}^2 m_{\pi_t}^2 C_0 - m_{t2}^2 m_{b2}^2 C_{11}] + k_1^V [2m_{b2}^2 m_{t2}^2 (2C_0 + C_{11}) + k_5^V m_{b2}^2 C_{24}^* - m_{b2}^2 m_{t2}^2 k_3^V B_1'(m_{b2}, m_{t2}, m_{\pi_t})] \}, \quad (\text{B2})$$

$$F_{3V} = \frac{1}{8\pi^2 f_{\pi_t}^2} [-2m_{b2}^3 k_2^V (C_{21} + C_{22} - 2C_{23} + C_{11} - C_{12}) - 2m_{b2} m_{t2}^2 k_1^V (C_{23} - C_{22}) + 2m_{t2}^2 m_{b2} k_2^V (C_{12} - C_{11}) - \frac{1}{2} k_5^V m_{b2}^3 (C_{12}^* + 2C_{22}^*) + \frac{1}{2} k_5^V m_{t2}^2 m_{b2} (C_0^* + 3C_{12}^* - C_{11}^* + 2C_{22}^* - 2C_{23}^*)], \quad (\text{B3})$$

$$F_{4V} = \frac{1}{8\pi^2 f_{\pi_t}^2} [-2m_{t2}^2 m_{b2} k_1^V (C_{21} + C_{22} - 2C_{23} + 2C_{11} - 2C_{12}) - 2m_{b2}^3 k_2^V (C_{23} - C_{22}) + \frac{1}{2} k_5^V m_{t2}^2 m_{b2} (C_0^* + C_{12}^* - 2C_{22}^*) - \frac{1}{2} k_5^V m_{b2}^3 (C_{11}^* - C_{12}^* - 2C_{22}^* + 2C_{23}^*)], \quad (\text{B4})$$

$$F_{5V} = \frac{1}{8\pi^2 f_{\pi_t}^2} [2m_{b2}^3 k_2^V (-C_{22} + C_{23}) + 2m_{b2} m_{t2}^2 k_1^V (2C_{12} + C_{22}) - \frac{1}{2} k_5^V m_{b2}^3 (2C_{22} - 2C_{23} - C_{12}) - \frac{1}{2} k_5^V m_{t2}^2 m_{b2} (C_0^* + C_{11}^* - C_{12}^* - 2C_{21}^* - 2C_{22}^* + 4C_{23}^*)], \quad (\text{B5})$$

$$F_{6V} = \frac{1}{8\pi^2 f_{\pi_t}^2} [2m_{t2}^2 m_{b2} k_1^V (-C_{22} + C_{23}) + 2m_{b2}^3 k_2^V (C_{22} + C_{12}) + 2m_{t2}^2 m_{b2} k_2^V C_{12} - \frac{1}{2} k_5^V m_{t2}^2 m_{b2} (C_0^* + 2C_{11}^* - 3C_{12}^* + 2C_{22}^* - 2C_{23}^*) - \frac{1}{2} k_5^V m_{b2}^3 (C_{12}^* - C_{11}^* - 2C_{21}^* - 2C_{22}^* + 4C_{23}^*)], \quad (\text{B6})$$

其中 k_i^V (A7) 取附录 A 中同样的值并且

$$C_{ij} = C_{ij}(m_{b2}, -\sqrt{s}, m_{\pi_t}, m_{t2}, m_{t2}), \quad C_{ij}^* = C_{ij}^*(m_{b2}, -\sqrt{s}, m_{t2}, m_{\pi_t}, m_{\pi_t}).$$

Research of $b\bar{b}$ Production in the Topcolor Assisted Technicolor Model*

LU Gong-Ru¹ HUANG Jin-Shu² LÜ Gang¹

1 (Department of Physics, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China)

2 (Department of Physics, Henan Nanyang Normal College, Nanyang 473061, China)

Abstract In the framework of topcolor assisted technicolor (TC2) model, we calculate the contributions of cross section from the pseudo Goldstone bosons and new gauge bosons to $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}$. We find that, within reasonable ranges of the parameters, the corrections arising from technipions and new gauge bosons are negligibly small; and the top pions afford dominate contribution, the maxim cross section corrections can reach 43% with the c.m. energy $\sqrt{s}=500\text{GeV}$; whereas in case of $\sqrt{s}=1500\text{GeV}$, the maxim cross section relative corrections is only 3.1%. It might open a window to detect topcolor assisted technicolor model in the experiment of next generation linear collider.

Key words topcolor assisted technicolor, pseudo Goldstone boson, gauge boson, bottle quark, cross section

Received 21 April 2006

* Supported by Natural Science Foundation of Henan Province (03110127000), Natural Science Foundation of Henan Province Educational Committee (20040601010) and National Natural Science Foundation of China (10575029)