

# 顶色辅助的多标度人工色理论中的 PGB's 对顶夸克产生的修正\*

岳崇兴<sup>1)</sup> 鲁公儒 李卫彬 孙俊峰  
(河南师范大学物理与信息工程学院 新乡 453002)

**摘要** 在顶色辅助的多标度人工色模型框架下,计算了赝标哥尔斯通玻色子(TC 介子, Top 介子)对 Tevatron 上  $q\bar{q} \rightarrow t\bar{t}$  顶夸克对产生的单圈修正. 计算表明此修正主要来自 Top 介子,在适当的参数范围内, PGB's 对顶夸克对树图级产生截面的单圈修正可达 17%.

**关键词** Top 介子 人工色理论 产生截面  $\sigma_{tt}$

## 1 引言

尽管标准模型(SM)在描述粒子的相互作用方面取得了巨大的成功,但是此理论还存在两个疑难问题. 一是给出弱电规范玻色子  $W^\pm, Z^0$  质量的电弱对称性破缺机制;二是给出普通费米子质量的味对称性破缺的来源. 在 SM 中,这两个对称性破缺是通过引入 Higgs 标量场来实现的. 由于对称性自发破缺, Higgs 玻色子的真空期望值给出了弱电规范玻色子的质量;通过 Yukawa 耦合,给出了费米子质量. 但是, SM 并没有给出产生这些质量的明显的动力学解释.

超出标准模型的对称性破缺理论主要有两种:一是超对称理论;二是人工色(TC)理论. 在这两类理论中,顶夸克在电弱对称性破缺(EWSB)和味对称性破缺(FSB)中扮演了一个特殊的角色. 例如在超引力模型中,由于顶夸克和其超对称伙伴在 Higgs 玻色子自能中的辐射修正,使得电弱对称性破缺. 这主要是因为顶夸克质量很重, Higgs 玻色子场的跑动质量变成负值,使得电弱对称性产生自发破缺. 因此,在此模型中 EWSB 是同顶夸克联系在一起的. 另外,在 TC 理论中, TC 相互作用使 TC 费米子凝聚,从而使得 EWSB 实现,并给出了规范玻色子  $W^\pm, Z^0$  质量. 在通常的 ETC 模型中,轻费米子是通过 ETC 规范玻色子和 TC 费米子发生作用而获得的. 但是, ETC 规范玻色子不能产生足够大的顶夸克质量. 然而在顶色辅助的人工色模型(TC2)<sup>[1]</sup>中,顶夸克在 FSB 中起到了一

2000-04-28 收稿

\* 国家自然科学基金和河南省杰出青年基金以及河南省教育厅资助

1) E-mail: cxyue@public.xxptt.ha.cn

个特殊的作用. 在此模型中, 一种新的强规范相互作用 (Topcolor) 使得顶夸克对发生凝聚, 产生了大部分顶夸克质量, 但却对 EWSB 贡献很小. ETC 相互作用给出了轻费米子和部分顶夸克质量. 通过这种方案, TC2 理论很自然地给出了费米子质量谱. 很显然, 在上述模型中, 顶夸克起到了非常重要的作用.

在 Tevatron 上, 顶夸克主要是通过夸克-反夸克湮没和胶子融合这两个过程产生

$$q\bar{q} \rightarrow t\bar{t}, \quad gg \rightarrow t\bar{t}, \quad (1)$$

这两个过程的产生截面  $\sigma_{ii}$  在标准模型和某些新物理模型框架下已经计算过了. 例如对于  $q\bar{q} \rightarrow t\bar{t}$  过程, 几年前人们已经在 SM 框架下, 完成了顶夸克对产生截面的次领头阶的计算<sup>[2]</sup>; 对  $\sigma_{ii}$  的单圈弱电修正也已计算过<sup>[3]</sup>, 结果表明此修正只有百分之几; 最近的一些文献<sup>[4]</sup> 计算了包含  $\alpha_s^3$  阶的修正和领头阶软胶子的辐射修正, 发现顶夸克产生截面为  $\sigma_{ii} = 5.52_{-0.45}^{+0.07}$  pb. 此外, 在一些新物理模型中, 人们也讨论了此过程, 例如在最小超对称模型下, 人们计算了对  $t\bar{t}$  产生截面的 Yukawa 修正, 发现此修正不会超过 20%<sup>[5]</sup>. 另外, 在一代人工色模型 (OGTC) 下也已计算了膺标哥尔斯通玻色子 (PGB's) 对此过程的修正<sup>[6]</sup>. 对于 Tevatron 上的  $gg \rightarrow t\bar{t}$  过程, SM 预言此过程的产生截面只占总截面  $\sigma_{ii}$  的 10%. 但是, 在走动人工色模型 (WTC), 多标度走动人工色模型 (MWTC) 和顶色辅助的多标度人工色模型 (TOPCMTC) 框架下, 膺标哥尔斯通玻色子 (PGB's) 可以通过  $g\bar{g} \rightarrow t\bar{t}$  过程给  $\sigma_{ii}$  以相当大的修正<sup>[7-9]</sup>. 本文计算了 TC2 理论中的 PGB's 对 Tevatron 上过程  $q\bar{q} \rightarrow t\bar{t}$  产生截面的单圈修正.

由于顶夸克对产生截面的实验值  $\sigma_{ii} = 7.5_{-1.6}^{+1.9}$  pb 比标准模型的预言值  $\sigma_{ii} = 5.52_{-0.45}^{+0.07}$  pb 大. 因此, 有必要在非标准模型下, 重新对此问题进行研究, 借此了解实验数据是否会对新物理给出一定的限制. 在传统的人工色模型框架下, 人们对此问题做了研究, 但结果不尽人意. 比如 OGTC 模型预言的 PGB's 可降低  $q\bar{q} \rightarrow t\bar{t}$  产生截面  $\sigma_{ii}$  38%<sup>[6]</sup>, 这同实验数据严重不符. 因此, 从这一点上来说, OGTC 模型是不理想的. 另外对于 WTC 模型, 由于其给出过大的电弱参数  $S, T$  而被排除. 对于 MWTC 模型<sup>[10]</sup>, ETC 规范玻色子对  $R_b = \Gamma(Z \rightarrow b\bar{b}) / \Gamma(Z \rightarrow \text{hadron})$  的修正<sup>[11]</sup>, 以及文献[12]在此模型下计算的 PGB's 对过程  $b \rightarrow s\gamma$  的修正严重与实验数据不符, 因此实验也排除了此模型. TC2 理论解决了传统 TC 理论出现的这些问题. 在此理论中, TC 相互作用负责电弱对称性破缺, 而 ETC 相互作用给出第一, 第二代费米子质量, 顶夸克质量主要由 Topcolor 凝聚提供, 其值为  $(1 - \epsilon)m_t$ , ( $0.03 \leq \epsilon \leq 0.1$ ). TC2 模型预言了一些 PGB's (TC 介子和 3 个 Top 介子), 这些新粒子可对高能实验的可观测物理量产生有意义的圈图效应. 因此, 计算 TC2 理论预言的 PGB's 对可观测物理量的修正对检验 TC2 理论有重要的意义.

文献[13]已经在 Tevatron 和 LHC 上研究了 topgluon  $B^A$  对  $t\bar{t}$  产生截面  $\sigma_{ii}$  的修正, 结果表明只有在  $M_{B^A} \leq 700$  GeV 时,  $B^A$  才对  $\sigma_{ii}$  产生可观测的修正. 在本文中, 我们忽略了规范玻色子  $B^A$  对过程  $q\bar{q} \rightarrow t\bar{t}$  的贡献, 仅讨论 PGB's 对此过程的贡献, 计算结果表明, PGB's 对  $\sigma_{ii}$  的修正主要来自 Top 介子, 在合理的参数取值下, Top 介子的修正值可达 17%.

## 2 计算过程

我们采用 TOPCMTC 模型计算 PGB's 对过程  $q\bar{q} \rightarrow t\bar{t}$  产生截面  $\sigma_a$  的修正. TOPCMTC 模型是多标度人工色模型<sup>[10]</sup>和顶色相互作用有机结合的一种新的模型. 此模型中的顶色部分同通常的 TC2 理论中的一样. 该模型预言了 3 个色单态的 top 介子  $\pi^0, \pi^+, \pi^-$ , 其衰变常数为  $F_\pi = 50\text{GeV}$ . 另外, 还预言了大量的 TC 介子, 其衰变常数为  $F = 40\text{GeV}$ .

同过程  $q\bar{q} \rightarrow t\bar{t}$  相关的 PGB's 是荷电色单态(八重态)TC 介子  $P^\pm (P_{8a}^\pm)$ , 中性色单态(八重态)TC 介子  $P^0 (P_{8a}^0)$ , 以及 3 个色单态 Top 介子. 相应的费曼图参见图 1 和图 2.

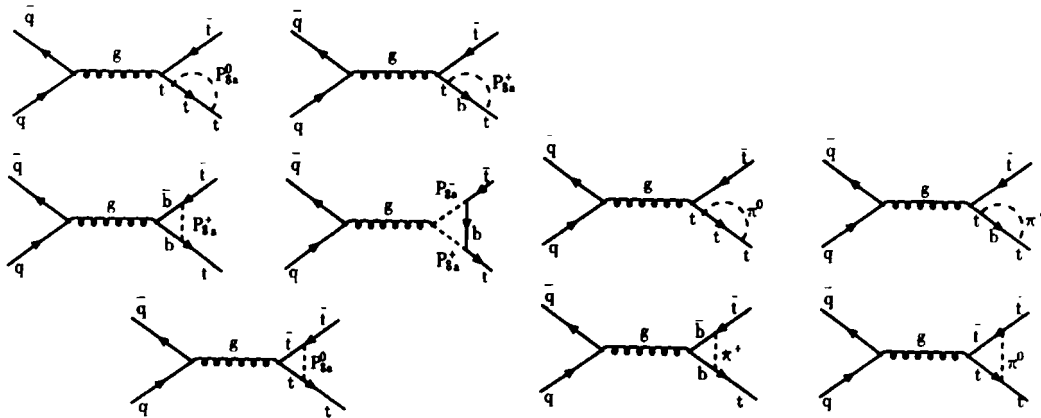


图 1 过程  $q\bar{q} \rightarrow t\bar{t}$  中, 和 TC 介子相关的费曼图  $P_{8a}$  代表色八重态 TC 介子.

图 2 过程  $q\bar{q} \rightarrow t\bar{t}$  中, 和 Top 介子相关的费曼图  $\pi$  代表色单态 Top 介子.

在计算中, 采用维数正规化和质壳重正化方案<sup>[14]</sup>,  $q\bar{q} \rightarrow t\bar{t}$  的重正化振幅可以写为

$$M_{\text{ren}} = M_0 + \delta M, \tag{2}$$

$$\delta M = \delta M_{\text{TC}} + \delta M_{\text{Topcolor}} \tag{3}$$

其中  $M_0$  是 SM 中树图的振幅,  $\delta M_{\text{TC}}$  和  $\delta M_{\text{Topcolor}}$  是 TC 介子和 Top 介子单圈修正的贡献.  $M_0, \delta M_{\text{TC}}, \delta M_{\text{Topcolor}}$  的表达式可写为

$$M_0 = \bar{v}(p_2)(-ig_s T^a \gamma^\nu) u(p_1) \frac{-ig_{\mu\nu}}{s} \bar{u}(p_3)(-ig_s T^a \gamma^\mu) v(p_4), \tag{4}$$

$$\delta M_{\text{TC}} = \bar{v}(p_2)(-ig_s T^a \gamma^\nu) u(p_1) \frac{-ig_{\mu\nu}}{s} \bar{u}(p_3) \delta\Lambda_{\text{TC}}^\mu v(p_4), \tag{5}$$

$$\delta M_{\text{Topcolor}} = \bar{v}(p_2)(-ig_s T^a \gamma^\nu) u(p_1) \frac{-ig_{\mu\nu}}{s} \bar{u}(p_3) \delta\Lambda_{\text{Topcolor}}^\mu v(p_4). \tag{6}$$

其中,  $p_1$  和  $p_2$  表示入射部分子的动量,  $p_3$  和  $p_4$  代表出射顶夸克  $t$  和反顶夸克  $\bar{t}$  的动量,  $T^a$  是  $3 \times 3 SU(3)$  色矩阵,  $\delta\Lambda_{\text{TC}}^\mu$  和  $\delta\Lambda_{\text{Topcolor}}^\mu$  表示有效顶角修正.

下面分两步来计算上面各量. 首先计算 TC 介子对  $q\bar{q} \rightarrow t\bar{t}$  过程的贡献. 色单态和色八重态 TC 介子与普通费米子的耦合形式是<sup>[15]</sup>

$$\frac{2iV_{u_i d_i}}{F} P_{8a}^\pm \bar{u}_i (m_{u_i} L - m_{d_i} R) \lambda^a d_i, \tag{7}$$

$$-\frac{\sqrt{2}i}{F}P_{8a}^0[\bar{u}_i m_u \gamma_5 \lambda^a u_i + \bar{d}_i m_d \gamma_5 \lambda^a d_i], \quad (8)$$

$$\frac{iV_{u_i d_i}}{F}P^+ \bar{u}_i (m_u L - m_d R) d_i \sqrt{\frac{2}{3}}, \quad (9)$$

$$-\frac{i}{F}P^0[\bar{u}_i m_u \gamma_5 u_i + \bar{d}_i m_d \gamma_5 d_i] \sqrt{\frac{1}{3}}. \quad (10)$$

其中  $\lambda^a$  是 Gell-Mann 矩阵,  $L, R = \frac{1}{2}(1 \mp \gamma_5)$ .

从上述方程,可以看出色单态 TC 介子对振幅  $\delta M$  的贡献比相应的色八重态 TC 介子的贡献小  $\frac{1}{18}$ . 因此,色单态 TC 介子对散射振幅的贡献至少小两个量级. 所以,在我们的计算中忽略了色单态 TC 介子的贡献.

经过直接的运算,得到  $\delta\Lambda_{TC}^a$  有如下的形式:

$$\delta\Lambda_{TC}^a = -ig_s T^a \frac{3m_i'^2}{8\pi^2 F^2} [\gamma^\mu F_1 + \gamma^\mu \gamma_5 F_2 + \kappa^\mu F_3 + \kappa^\mu \gamma_5 F_4 + i\kappa_\nu \sigma^{\mu\nu} F_5 + i\kappa_\nu \sigma^{\mu\nu} \gamma_5 F_6]. \quad (11)$$

这里  $\sigma^{\mu\nu} = (i/2)[\gamma^\mu, \gamma^\nu]$ ;  $\kappa^\mu = p_3^\mu + p_4^\mu$ ;  $F_i$  是形式因子,其表达式加在附录所示. 在附录中,我们可以看出所有的紫外发散都已抵消.

第二步计算 Top 介子对  $q\bar{q} \rightarrow t\bar{t}$  的贡献. Top 介子和顶夸克,底夸克的耦合形式为<sup>[1]</sup>

$$\frac{m_t^*}{\sqrt{2}F_t} [i\bar{t}\gamma_5 t\pi^0 + \frac{i}{\sqrt{2}}\bar{t}(1 - \gamma_5)b\pi^+ + \frac{i}{\sqrt{2}}\bar{b}(1 + \gamma_5)t\pi^-], \quad (12)$$

$$\frac{m_b^*}{\sqrt{2}F_b} [i\bar{b}\gamma_5 b\pi^0 + \frac{i}{\sqrt{2}}\bar{t}(1 + \gamma_5)b\pi^+ + \frac{i}{\sqrt{2}}\bar{b}(1 - \gamma_5)t\pi^-]. \quad (13)$$

其中  $m_t^* = (1 - \epsilon)m_t$ ,  $m_b^* \approx 3.5\text{GeV}$  分别表示顶色相互作用产生的顶夸克和底夸克质量.

利用方程(12)和方程(13),可以计算出

$$\delta\Lambda_{\text{Topcolor}}^a = ig_s T^a \gamma^\mu L F_{1g} + ig_s T^a \gamma^\mu R F_{2g} + ig_s T^a p_3^\mu L F_{3g} + ig_s T^a p_3^\mu R F_{4g} + ig_s T^a p_4^\mu L F_{5g} + ig_s T^a p_4^\mu R F_{6g}, \quad (14)$$

其中  $F_{ig}$  是 Top 介子部分相应的形式因子,其具体表达式与附录相似.

过程子散射截面可写为树图和单圈修正的两部分之和:

$$\bar{\sigma}(\bar{s})\bar{\sigma}^0 + \Delta\bar{\sigma}, \quad (15)$$

$$\Delta\bar{\sigma} = \Delta\bar{\sigma}_{TC} + \Delta\bar{\sigma}_{\text{Topcolor}}. \quad (16)$$

其中

$$\bar{\sigma}^0 = \frac{8\pi\alpha_s^2}{27\bar{s}^2} \sqrt{1 - \frac{4m_t'^2}{\bar{s}}} (\bar{s} + 2m_t'^2), \quad (17)$$

$$\Delta\bar{\sigma}_{TC} = \frac{8\pi\alpha_s^2}{9\bar{s}^3} \sqrt{1 - \frac{4m_t'^2}{\bar{s}}} \frac{3m_t'^2}{8\pi^2 F^2} \left[ \frac{2}{3} F_1 \bar{s} (\bar{s} + 2m_t'^2) + 2F_5 m_t'^2 \bar{s}^2 \right],$$

$$\Delta\bar{\sigma}_{\text{Topcolor}} = \frac{8\pi\alpha_s^2}{27\bar{s}^2} \sqrt{1 - \frac{4m_t'^2}{\bar{s}}} \left[ (2m_t'^2 + \bar{s})(F_{1g} + F_{2g}) + \left( 2m_t'^3 - \frac{m_t'^*}{2}\bar{s} \right) (F_{3g} + F_{4g}) + \right.$$

$$\left(-2m_t^*{}^3 + \frac{m_t^*}{2}\bar{s}\right)(F_{5g} + F_{6g}), \tag{19}$$

$$\sigma(S) = \sum_{i,j} \int dx_1 dx_2 [f_i^A(x_1, Q) f_j^B(x_2, Q) + (A \leftrightarrow B)] \bar{\sigma}_{ij}(\bar{s}, \alpha_s(\mu)) = \tag{20}$$

强子的总散射截面可以通过子过程散射截面  $\bar{\sigma}_{ij}$  中分子  $i$  和  $j$  的父核, 由部分子分布函数  $f_i^A(x_1, Q)$  和  $f_j^B(x_2, Q)$  得到,

$$\sigma(S) = \sum_{i,j} \int dx_1 dx_2 [f_i^A(x_1, Q) f_j^B(x_2, Q) + (A \leftrightarrow B)] \bar{\sigma}_{ij}(\bar{s}, \alpha_s(\mu)) = \sum_{i,j} \int_0^1 \frac{d\tau}{\tau} \left(\frac{1}{S} \cdot \frac{dL_{ij}}{d\tau}\right) (\bar{s} \bar{\sigma}_{ij}), \tag{21}$$

其中 
$$\frac{dL_{ij}}{d\tau} = \int_{\tau}^1 \frac{dx_1}{x_1} [f_i^A(x_1, Q) f_j^B(\tau/x_1, Q) + (A \leftrightarrow B)]. \tag{22}$$

上式的求和是对所有入射部分子进行的. 这些部分子所参与的动量仅是其入射夸克动量的一部分 ( $p_{1,2} = x_{1,2} P_{1,2}$ ).  $\sqrt{S} = 1.8\text{TeV}$  是 Tevatron 的质心能量,  $\tau = x_1 x_2$ ,  $\tau_0 = 4m_t^2/S$ . 与文献[6]一样, 不区分因子化标度  $Q$  和重整化标度  $M$ , 认为它们都取  $\sqrt{S}$ . 另外, 为了同文献[6]的结果相比较, 我们使用了文献[6]中所用的部分子分布函数——Morfin-Tung 领头阶部分子分布函数<sup>[16]</sup>.

### 3 数值结果和讨论

计算中, 所用到的参数取值为  $m_t = 175\text{GeV}$ ,  $m_b = 4.5\text{GeV}$ ,  $V_b = 0.9743$ ,  $F = 40\text{GeV}$ ,  $F_t = 50\text{GeV}$ ; 另外, 我们把 TC 介子  $m_{P_{8a}}$  的质量作为自由参量, 取  $m_{P_{8a}}$  的变化范围为  $200\text{GeV} - 600\text{GeV}$ . 另外, 为了讨论参量  $m_\pi, \epsilon$  对散射截面的影响, 我们视它们为自由参量. 取  $\epsilon$  的变化范围为  $0.03 \leq \epsilon \leq 0.1$ .

最近, W. Loinaz 和 T. Takuchi<sup>[17]</sup> 根据 Top 介子对分支比  $R_b$  的修正贡献, 得出 Top 介子的质量应该在  $1\text{TeV}$  附近. 如果取 Top 介子的质量在  $1\text{TeV}$  附近时, 所得  $\sigma_{ii}$  同实验值严重不符. 在文献[17]中, 作者在计算过程中只考虑了 colorons  $B^A, Z$  和 Top 介子对  $R_b$  的贡献, 并没有把 ETC 动力学对  $R_b$  的贡献考虑在内. 在文献[18]中把 ETC 动力学对  $R_b$  的修正考虑在内, 重新研究了  $R_b$  对顶色辅助的人工色理论的限制, 得出 Top 介子的质量在几百个 GeV 量级上, 因此, 在计算中取 Top 介子质量的变化范围为  $50 - 450\text{GeV}$ .

图3给出了当  $\epsilon$  取  $0.06$  时, 函数  $\Delta\sigma_{ii}^{\text{TC}}/\sigma_{ii}^0$  随  $m_{P_{8a}}$  的变化曲线. 从图中, 可以看出色八重态 TC 介子对总散射截面的修正随着  $m_{P_{8a}}$  的增大而增大, 但是其对  $\sigma_{ii}^0$  的修正很小 (小于  $10\%$ ), 可以忽略.

图4中给出了当  $\epsilon$  取  $0.06$  时, 函数  $\Delta\sigma_{ii}^{\text{Topcolor}}/\sigma_{ii}^0$  随  $m_\pi$  的变化曲线. 从图中, 可以看出 Top 介子对总散射截面修正的程度同 Top 介子的质量  $m_\pi$  有很大的关联. 在整个取值区间内, 其修正量都比相应的 TC 介子的修正量大许多. 当取合适的参数时, Top 介子对  $\sigma_{ii}$  的贡献可达到  $17\%$ . 这可能会在未来的 Tevatron 实验上 (比如 Run II 或 Run III) 观测到.

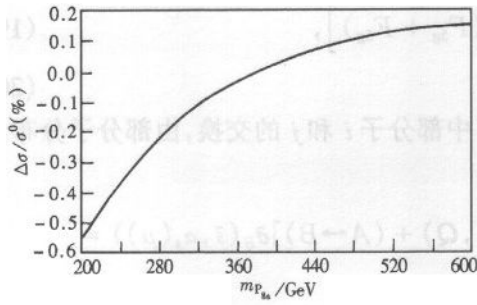


图 3  $\epsilon = 0.06$  时, TC 介子对产生截面的相对修正  $\Delta\sigma_{ii}^{TC}/\sigma_{ii}^0$  随  $m_{P_{8a}}$  的变化曲线

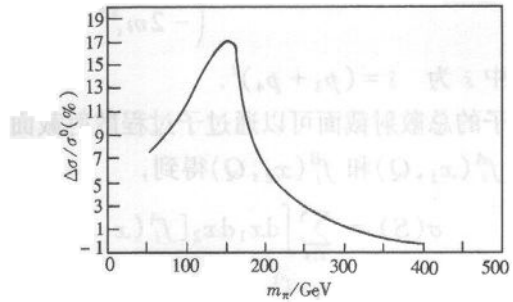


图 4  $\epsilon = 0.06$  时, Top 介子对产生截面的相对修正  $\Delta\sigma_{ii}^{Topcolor}/\sigma_{ii}^0$  随  $m_{\pi}$  变化的曲线图

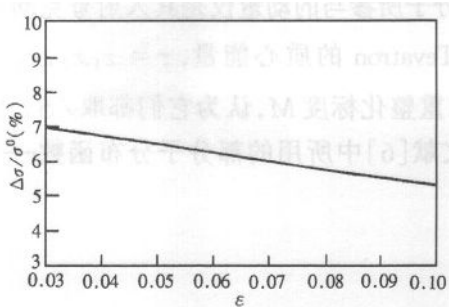


图 5  $m_{\pi} = 200\text{GeV}$  时, Top 介子对产生截面的相对修正  $\Delta\sigma_{ii}^{Topcolor}/\sigma_{ii}^0$  随  $\epsilon$  变化的曲线图

图 5 中给出了当  $m_{\pi} = 200\text{GeV}$  时, 函数  $\Delta\sigma_{ii}^{Topcolor}/\sigma_{ii}^0$  随  $\epsilon$  变化的曲线. 从图中, 可以看出  $\Delta\sigma_{ii}^{Topcolor}/\sigma_{ii}^0$  对  $\epsilon$  的依赖性不强.

在 TC2 理论中, 主要由 TC 相互作用负责电弱对称性破缺, 顶色相互作用主要产生顶夸克的质量, 因此理论中的 Top 介子不会被 W, Z 吃掉而保持为物理粒子. Top 介子同顶夸克的耦合正比于  $(1 - \epsilon)m_t/F_t$  ( $0.03 \leq \epsilon \leq 0.1$ ), 将 TC 介子对总散射截面的贡献同 Top 介子的相比较, 发现它们的比值是  $\left[\frac{\epsilon m_t}{F_t} \cdot \frac{F_t}{(1 - \epsilon)m_t}\right]^2 \approx 1.9 \times 10^{-2}$ .

因此, TC2 理论预言 PGB's 对各种过程的修正主要来自 Top 介子. 所以我们的结果与 TC2 理论的预言是一致的.

本文计算了 TOPCMTc 模型预言的赝标哥尔斯通玻色子对顶夸克对产生截面的单圈修正, 发现此修正主要来自 Top 介子. 在合适的参数取值内, 相对于树图水平, 它对费米实验室 Tevatron 上顶夸克对产生的总散射截面的最大修正可以达到 17%. 这在高亮度的 Tevatron 上是可以被观察到的.

参考文献 (References)

- 1 Hill C T. Phys. Lett., 1995, **B345**:483—489; Lane K. Phys. Lett., 1998, **B433**:96—101
- 2 Nason P, Dawson S, Ellis R K. Nucl. Phys., 1988, **303**:607—633; Altarelli G et al. Nucl. Phys., 1988, **B308**:724—752; Beenakker W et al. Phys. Rev., 1989, **D40**:54—82
- 3 Beenakker W et al. Nucl. Phys., 1994, **B411**:343—380
- 4 Laenen E, Smith J, van Neerven W L. Phys. Lett., 1994, **B321**:254—258; Berger E L, Contopanagos H. Phys. Lett., 1995, **361**:115—120
- 5 Stange A, Willenbrock S. Phys. Rev., 1995, **D48**:2054—2061
- 6 LU G R, YANG H, YANG J M et al. Phys. Rev., 1996, **D54**:1083—1086
- 7 Applequist T, Triantaphyllou G. Phys. Rev. Lett., 1992, **69**:2750—2753
- 8 Eichten E, Lane K. Phys. Lett., 1994, **B327**:129—135

9 YUE C X, ZHOU H Y, KUANG Y P et al. Phys. Rev., 1997, **D55**:5541—5548  
 10 Lane K, Eichten E. Phys. Lett., 1989, **B222**:274—280; Lane K, Ramana M V. Phys. Rev., 1991, **D44**:2678  
 11 YUE C X, KUANG Y P, LU G R. J. Phys., 1997, **G23**:163—167  
 12 LU G R, CAO Y G, XIONG Z H et al. Z. Phys., 1997, **C74**:355—360  
 13 Hill C T, Parke S. Phys. Rev., 1994, **D49**:4454—4462; Lane K. Phys. Rev., 1995, **D52**:1546—1555  
 14 Bohm M, Hollik W, Spiesberger H. Fortschr. Phys., 1986, **34**:687—695; Hollik W, Fortschr. Phys., 1990, **38**:165—178; Grzad B, Hollik W. Nucl. Phys., 1992, **B384**:101—102  
 15 Ellis J, Gaillard M K, Nanopoulos D V et al. Nucl. Phys., 1981, **B182**:529—545  
 16 Morfin J, Tung W K. Z. Phys., 1991, **C52**:13—29  
 17 Loinaz W, Takuchi T. Phys. Rev., 1999, **D60**:015005  
 18 YUE C X, KUANG Y P, WANG X L et al. 2000, **D62**:055005  
 19 Axelrod A. Nucl. Phys., 1982, **B209**:349—371

附录:形式因子  $F_i$  的表示形式为:

$$\begin{aligned}
 F_1 &= B_1(m'_t, m'_t, m_p) + B_0(M_{\bar{t}}, m'_t, m'_t) + m_p^2 C'_0 - 2C'_{24} + B_1(m'_t, m_b, m_p) - \\
 & 2C_{24} + B_0(M_{\bar{t}}, m_b, m_b) + m_p^2 C_0 - m_t^2 C_0 - 2m_t^2 (C_{11} + C_{21} + C'_{21}) + \\
 & 2m_t^2 \left[ \frac{\partial [B_1(p_3, m'_t, m_p) + B_1(p_3, m_b, m_p) + B_0(p_3, m'_t, m_p)]}{\partial p^2} \right]_{p^2 = m_t^2}, \\
 F_2 &= B_1(m'_t, m_b, m_p) - 2C_{24} + B_0(M_{\bar{t}}, m_b, m_b) + m_p^2 C_0 + m_t^2 (C_0 + 2C_{11}) - \\
 & 2m_t^2 (2C_{12} - C_{11} - C_{21} + 2C_{23}), \\
 F_3 &= m'_t (C_{11} + C_{21} + C'_{21} - 2C'_{23} - 2C_{23} - 2C_{12}), F_4 = m'_t (4C_{23} - 4C_{22} - C_{11} - C_{21}), \\
 F_5 &= m'_t (C_{11} + C_{21} + C'_{21}), F_6 = m'_t (2C_{12} - C_{21} + 2C_{23} - C_{11}).
 \end{aligned}$$

其中函数  $C_{ij} = C_{ij}(p_4, M_{\bar{t}}, m_p, m_b, m_b)$ ,  $C'_{ij}(p_4, M_{\bar{t}}, m_p, m'_t, m'_t)$  和  $B_i$  是两点和三点费曼积分函数, 其定义和表示形式可参见文献[19].

## PGB's Corrections to Top-Quark Production in Topcolor-assisted Multiscale Technicolor Model\*

YUE Chong-Xing<sup>1)</sup> LU Gong-Ru LI Wei-Bin SUN Jun-Feng

(College of Physics and Information Engineering, He'nan Normal University, Xinxiang 453002, China)

**Abstract** In topcolor-assisted multiscale technicolor (TOPCMTC) model, we calculate the corrections of Pseudo Goldstone bosons (technipions, top-pions) to the cross section of the process  $q\bar{q} \rightarrow t\bar{t}$  at the Fermilab Tevatron. Our results show that the corrections mainly come from top-pions. With reasonable value of the parameters, the correction can increase the total  $t\bar{t}$  production cross section  $\sigma_{t\bar{t}}$  by as much as 17%. This may provide a window to detect top-pions.

**Key words** top-pions, technicolor theory, production cross section  $\sigma_{t\bar{t}}$

Received 28 April 2000

\* Supported by National Natural Science Foundation of China, the Excellent Youth Foundation of Henan Scientific Committee and Foundation of Henan Educational Committee.

1) E-mail: cxyue@public.xxpt.ha.cn