

# TC 模型中 PGB 对 Tevatron 上 $t\bar{t}$ 产生截面的单圈修正\*

杨 华<sup>1)</sup> 鲁公儒 王学雷

(河南师范大学物理系 新乡 453002)

1996-07-04 收稿

## 摘 要

分别在一代 TC 模型 (OGTC) 和最近由 Georgi 等人提出的带有一个无质量的标量子的 TC 模型 (MTC) 中计算了赝标哥尔斯通粒子 (PGB) 对 Tevatron 上  $q\bar{q}' t\bar{t}$  过程的单圈修正. 发现在 OGTC 和大部分的参数空间中, PGB 的修正是减小  $t\bar{t}$  对截面的, 如果色八重态 PGB 的质量可以取到 150GeV 的话, 该修正达到 -38%, 这样的修正值是有实验意义的.

**关键词** TC 模型, 无质量标量子, 哥尔斯通粒子.

## 1 引 言

Tevatron 上, 顶夸克的产生机制主要来自于 QCD 过程  $q\bar{q}' t\bar{t}$ . 目前, CDF 组<sup>[1]</sup>与 D0 组<sup>[1]</sup>几乎同时宣布观测到了顶夸克, 其质量分别被确定为:  $m_t = 176 \pm 8 \pm 10\text{GeV}$  和  $m_t = 199^{+19}_{-21} \pm 22\text{GeV}$ , 同时 CDF 组给出了 top 对的产生截面为  $\sigma_{t\bar{t}}^{\text{exp}} = 6.8^{+3.6}_{-2.4}\text{Pb}$ , D0 组给出的 top 对产生截面为  $\sigma_{t\bar{t}}^{\text{exp}} = 6.4 \pm 2.2\text{Pb}$ . 由此可见实验上已经给出了精确的结果, 回过头来看一看理论上的研究. 在标准模型中, 几年以前人们就详细地研究过该过程<sup>[2]</sup>, 近来, 人们又研究了该过程的弱电修正<sup>[3]</sup>以及微扰理论各个量级的软胶子修正<sup>[3,4]</sup>, 最终的研究结果为  $m_t = 175\text{GeV}$  时  $t\bar{t}$  对的产生截面为  $\sigma_{t\bar{t}} = 5.52^{+0.07}_{-0.45}\text{Pb}$ . 由此看来, 标准模型对 top 对产生截面的预言是在实验值误差范围以内的, 这也是标准模型的成功之处. 然而, 无论是在理论计算上还是在实验观测上都是有一定的不确定性的, 在 Tevatron 上, 其系统误差与统计误差大约为  $\pm 20\%$ , 即任何对 top 对产生截面超出  $\pm 20\%$  的修正都是有可能在 Tevatron 上观测到的, 这就使人们寄希望于该过程的辐射修正, 希望由此获得一些新物理的可靠信息. 正是在这种思想的指引下, A. Stange 等人首先研究了该过程的 Yukawa 修正<sup>[5]</sup>, 他们发现在双 Higgs 二重态模型中, 该修正能够大大地提高 top 对的

\* 国家自然科学基金资助.

1) 现在地址: 郑州电子技术学院物理教研室, 邮政编码 450004.

产生截面, 可以达到 20—35%, 而在最小超对称模型中, 该修正则不超过 20%. 随后 C. S. Li 等人又研究了该过程的单圈超对称 QCD 修正<sup>[6]</sup>, 也得出了较有意义的结果. 在本文中, 我们即将研究在 OGTC 模型与 MTC 模型中, PGB 对该过程的单圈修正.

OGTC 模型是最简单最普通的 TC 模型之一, 之所以选择该模型, 是因为考虑到人们已经对该模型做了许多唯象的研究<sup>[7,8]</sup>, 这些先前的工作有利于我们的计算, 有利于结果的比较, 同时也为建立更为合理的模型提供一种思路.

然而, 大多数 TC 模型中都是存在着一些问题的(例如味改变中性流(FCNC)问题等). 为了解决这些问题, 最近的文献中大量地研究了带有标量粒子的 TC 模型<sup>[9-12]</sup>. 唯象地研究表明这样的模型不致于产生过大的 FCNC 而且在某些方面与实验的结果取得了一致. 在这些模型中, 由 C. D. Carone 和 H. Georgi 最近提出来的 MTC 模型中只有两个新的自由参数  $h, \tilde{\lambda}$ , 最近的文献 [13, 14] 中又对该模型做了某些唯象研究. 本文亦在该模型中研究了  $q\bar{q} \rightarrow t\bar{t}$  过程的单圈修正.

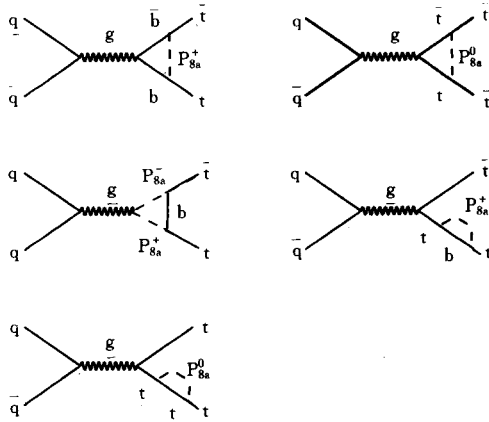


图1 PGB对  $q\bar{q} \rightarrow t\bar{t}$  过程单圈修正的费曼图

## 2 计算过程

PGB对  $q\bar{q}, t\bar{t}$  过程的修正主要来自于顶夸克自能以及  $t\bar{t}$  与胶子的耦合顶角. 该过程的费曼图绘在图 1 中, 图中所涉及到的费曼规则来自于参考文献 [7, 9], 在具体计算过程中采用了维数正规化理论以及在壳重正化理论<sup>[15]</sup>. 该过程的重正化衰变矩阵元可写为:

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

其中  $M_0$  是树图的衰变矩阵元,  $\delta M$  是修正部分. 它们的具体形式如下:

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

$$\delta M = \bar{v}(p_2)(-ig_s T^a \gamma^\nu) u(p_1) \frac{-ig_{\mu\nu}}{\hat{S}} \bar{u}(p_3) \delta A^\mu v(p_4),$$

其中  $p_1, p_2$  是入射粒子及其反粒子的动量;  $p_3, p_4$  是顶夸克及其反粒子的动量;  $\delta A^\mu$  是修正部分.

考虑到色八重赝标哥尔斯通粒子的贡献至少比色单态赝标哥尔斯通粒子的贡献高两个数量级, 在具体的计算中忽略了色单态赝标哥尔斯通粒子的贡献.

$\delta A^\mu$  的具体形式为:

$$\delta A^\mu = -ig_s T^a \frac{3m_t^2}{8\pi^2 \hat{F}^2} [\gamma^\mu F_1 + \gamma^\mu \gamma_5 F_2 + k^\mu F_3 + k^\mu \gamma_5 F_4 + ik_\nu \sigma^{\mu\nu} F_5 + ik_\nu \sigma^{\mu\nu} \gamma_5 F_6],$$

其中  $\sigma^{\mu\nu} = \frac{i}{2} [\gamma^\mu, \gamma^\nu]$ . 在 OGTC 中  $\xi = F_T$ , 在 MTC 中  $\xi = -\sqrt{6} v f' / f$ , 式中的  $F_i$  是形状因子, 其具体形式如下:

$$F_1 = B_1(m_t, m_t, m_x) + B_0(M_{\bar{t}t}, m_t, m_t) + m_x^2 C'_0 - 2C'_{24} + B_1(m_t, m_b, m_x) \\ - 2C_{24} + B_0(M_{\bar{t}t}, m_b, m_b) + m_x^2 C_0 - m_t^2 C_0 - 2m_t^2 (C_{11} + C_{21} + C'_{21}) \\ + 2m_t^2 \left[ \frac{\partial(B_1(p_3, m_t, m_x) + B_1(p_3, m_b, m_x) + B_0(p_3, m_t, m_x))}{\partial p^2} \right]_{p^2 = m_t^2}$$

$$F_2 = B_1(m_t, m_b, m_x) - 2C_{24} + B_0(M_{\bar{t}t}, m_b, m_b) + m_x^2 C_0 \\ + m_t^2 (C_0 + 2C_{11}) - 2m_t^2 (2C_{12} - C_{11} - C_{21} + 2C_{23}),$$

$$F_3 = m_t (C_{11} + C_{21} + C'_{21} - 2C'_{23} - 2C_{23} - 2C_{12}),$$

$$F_4 = m_t (4C_{23} - 4C_{22} - C_{11} - C_{21}),$$

$$F_5 = m_t (C_{11} + C_{21} + C'_{21}),$$

$$F_6 = m_t (2C_{12} - C_{21} + 2C_{23} - C_{11}),$$

式中  $m_x$  在 OGTC 中即为色八重 PGB 的质量, 在 MTC 中即为 Technipions 的质量;  $C_{ij} = C_{ij}(p_4, M_{\bar{t}t}, m_x, m_b, m_b)$ ,  $C'_{ij} = C'_{ij}(p_4, M_{\bar{t}t}, m_x, m_t, m_t)$  以及  $B_i$  是 3 点和 2 点标准函数, 其定义可参见文献 [16]. 显然在形状因子  $F_i$  中已经不存在紫外发散.

部分子截面可以写为树图部分与修正项之和:

$$\hat{\sigma}(\hat{S}) = \hat{\sigma}^0 + \Delta\hat{\sigma},$$

其中树图部分是与文献 [5] 中的一样, 即:

$$\hat{\sigma}^0 = \frac{8\pi\alpha_s^2}{27\hat{S}^2} \beta_t(\hat{S} + 2m_t^2).$$

修正部分为:

$$\Delta\hat{\sigma} = \frac{8\pi\alpha_s^2}{9\hat{S}^3} \beta_t \frac{3m_t^2}{8\pi^2 \xi^2} \left[ \frac{2}{3} F_1 \hat{S}(\hat{S} + 2m_t^2) + 2F_5 m_t \hat{S}^2 \right],$$

式中

$$\beta_t = \sqrt{1 - 4m_t^2 / \hat{S}},$$

$$\hat{S} = (p_3 + p_4)^2.$$

通过部分子分布函数  $f_i^A(x_1, Q)$ ,  $f_j^B(x_2, Q)$ , 由部分子截面  $\hat{\sigma}_{ij}$ , 通过下式就可得到总的  $t\bar{t}$  对产生截面:

$$\sigma(S) = \sum_{ij} \int dx_1 dx_2 [f_i^A(x_1, Q) f_j^B(x_2, Q) + (A \leftrightarrow B)] \hat{\sigma}_{ij}(\hat{S}, \alpha_s(\mu)) \\ = \sum_{ij} \int_{\tau_0}^1 \frac{d\tau}{\tau} \left( \frac{1}{S} \frac{dL_{ij}}{d\tau} \right) (\hat{S} \hat{\sigma}_{ij}),$$

其中

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

这里, 我们采用了与参考文献[5]同样的部分子分布函数, 其详细的描述可以参见文献[17].

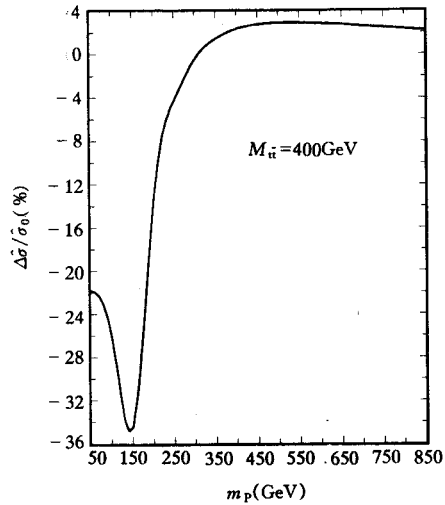


图2 在OGTC中, 当 $M_{t\bar{t}} = 400\text{GeV}$ 时, 色八重 PGB对部分子产生截面的修正随 $m_p$ 的变化曲线. 本文中考虑 $hf'/f = 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1$ 时 $\tilde{\lambda}$ 从0.03到157区间内的变化情况.

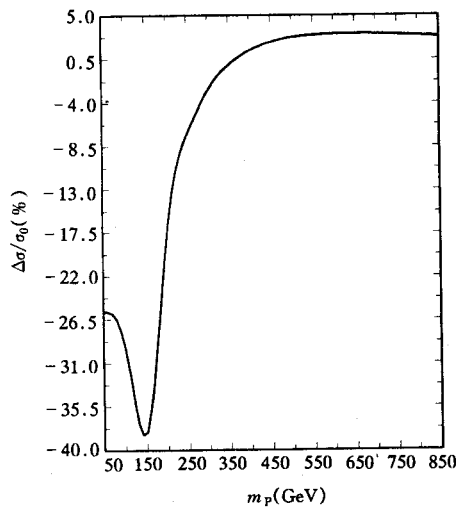


图3 在OGTC中, 色八重态 PGB对 $t\bar{t}$ 产生截面的单圈修正随 $m_p$ 的变化曲线

### 3 结果与讨论

在输入参数中:  $m_t = 176\text{GeV}$ ,  $m_b = 4.5\text{GeV}$ ,  $\alpha_s = 1.4675 / \ln(m_t^2 / \Lambda_{\text{QCD}}^2)$ , 其中 $\Lambda_{\text{QCD}} = 180\text{MeV}$ . 在OGTC中, 取 Technipion的衰变常数 $F_T = 123\text{GeV}$ , 现在考虑色八重态赝标哥尔斯通粒子的质量 $m_p$ , 参考文献[18]中给出了色单态赝标哥尔斯通粒子的质量下限为 $40\text{GeV}$ , 一般说来, 色八重 PGB的质量比色单态 PGB的质量大得多, 本文考虑了 $m_p$ 从 $50\text{GeV}$ 到 $850\text{GeV}$ 区间的变化.

在MTC中仍有两个参数 $h, \tilde{\lambda}$ , Carone和Georgi在文献[9]中给出了它们的参数空间.

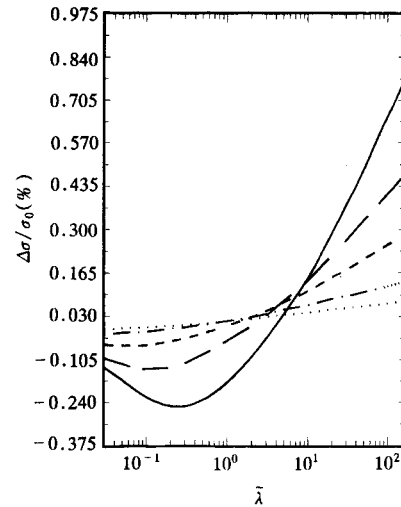


图4 在MTC中, Technipions对 $t\bar{t}$ 对产生截面的修正随 $\tilde{\lambda}$  (0.03—157)的变化曲线  
— $hf'/f = 0.05$ , --- $hf'/f = 0.1$ , -·-·- $hf'/f = 0.2$ ,  
--·-· $hf'/f = 0.5$ , ····· $hf'/f = 1$ .

最终的结果绘在图 2—4 中, 图 2 是在 OGTC 中, 当  $M_{tt} = \sqrt{S} = 400\text{GeV}$  时, PGB 对部分子截面的修正随  $m_p$  变化的曲线; 图 3 是 OGTC 中 PGB 对总的  $t\bar{t}$  对产生截面的修正随  $m_p$  变化的曲线. 从这两个图中可以看到在  $m_p \leq 300\text{GeV}$  时, 该修正随  $m_p$  的变化比较显著而且是降低总截面的; 当  $m_p > 300\text{GeV}$  时, 修正随  $m_p$  的变化不显著而且为正. 从图 3 中可以看出当  $m_p = 150\text{GeV}$  时, PGB 对截面的修正达到了负的极大值  $-38\%$ , 而当  $m_p = 600\text{GeV}$  时达到正的极大值  $3.2\%$ .

图 4 是 MTC 中, Technipions 的修正随  $\lambda$  ( $0.03-157$ ) 的变化曲线. 从图中可以看出  $hf'/f$  越小, 该修正随  $\lambda$  的变化越显著, 当  $hf'/f = 0.05$  时, 该修正在  $\lambda = 0.316$  处达到负的最大值  $-0.3\%$ , 在  $\lambda = 157$  时达到正的最大值  $0.79\%$ .

Tevatron 上, 对  $t\bar{t}$  产生截面超出  $\pm 20\%$  的修正都是有可能被观测到的<sup>[5,19]</sup>. 所以在 MTC 中 Technipions 对截面的修正以及 OGTC 中色八重 PGB 对截面的正的修正都是观测不到的, 然而在 OGTC 中色八重态 PGB 的负的修正, 即在  $m_p = 150\text{GeV}$  时达到了  $-38\%$ , 这个效应是应该能够被观测到的, 我们希望由此获得一些 TC 理论的有用信息.

### 参 考 文 献

- [1] CDF Collaboration, *Phys. Rev. Lett.*, **74**(1995)2626; D0 Collaboration, *Phys. Rev. Lett.*, **74**(1995)2632.
- [2] P. Nason, S. Dawson, R. K. Ellis, *Nucl. Phys.*, **B303**(1988)609; G. Altarelli *et al.*, *Nucl. Phys.*, **B308**(1988)724; W. Beenaker *et al.*, *Phys. Rev.*, **D40**(1989)54.
- [3] W. Beenaker *et al.*, *Nucl. Phys.*, **B411**(1994)343.
- [4] E. Laenen, J. Smith, W. L. Van Neerven, *Phys. Lett.*, **B321**(1994)254; E. L. Berger, H. Contopanagos, Argonne ANL-HEP-PR-95-31.
- [5] A. Stange, S. Willenbrock, *Phys. Rev.*, **D48**(1993)2054.
- [6] C. S. Li *et al.*, Chongqing Univ. Preprint, CQU-TH-4/94(1994).
- [7] J. Ellis *et al.*, *Nucl. Phys.*, **B182**(1981)529; E. Farhi, L. Susskind, *Phys. Rev.*, **D20**(1979)3404.
- [8] R.K. Kaul, *Rev. Mod. Phys.*, **55**(1983)449; E. Eichten, I. Hinchliffe, K. D. Lane *et al.*, *Phys. Rev.*, **D34**(1986)1547.
- [9] C. D. Carone, H. Georgi, *Phys. Rev.*, **D49**(1994)1427.
- [10] C. D. Carone, E. H. Simmons, *Nucl. Phys.*, **B397**(1993)591.
- [11] E. H. Simmons, *Nucl. Phys.*, **B312**(1989)253; S. Samuel, *ibid.*, **B347**(1990)625.
- [12] A. Kagan, S. Samuel, *Phys. Lett.*, **B252**(1990)605; **B270**(1991)37.
- [13] Y. D. Yang, T. H. Lu *et al.*, Submitted to *Phys. Rev. D*.
- [14] C. D. Carone *et al.*, *Phys. Lett.*, **B**(1995)355.
- [15] K. I. Aoki *et al.*, *Prog. Theor. Phys. Suppl.* **73**(1982)1; M. Bohm, W. Hollik, H. Spiesberger, *Fortschr. Phys.*, **34**(1986)687.
- [16] A. Axelrod, *Nucl. Phys.*, **B209**(1982)349; G. Passarino, M. Veltman, *Nucl. Phys.*, **B160**(1979)151; M. Clements *et al.*, *Phys. Rev.*, **D27**(1983)570.
- [17] J. Morfin, W. K. Tung, *Z. Phys.*, **C52**(1991)13.
- [18] F. Dydak, in Proceedings of the XXVth International Conference of High Energy Physics, Singapore, 1990 edited by K. K. Phua and Y. Yamaguchi(World Scientific Singapore)(1990).
- [19] R. K. Ellis, Fermilab-Conf-93/011-T(1993).

## Study on PGBs Correction to $q\bar{q} \rightarrow t\bar{t}$ at the Tevatron in the Technicolor Models

Yang Hua    Lu Gongru    Wang Xuelei

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

Received 4 July 1996

### Abstract

We calculate the Pseudo-Goldstone-Bosons(PGBs) corrections of order  $am_t^2$  to  $q\bar{q} \rightarrow t\bar{t}$  at the Tevatron in the frameworks of the one generation technicolor model(OGTC) and a minimal technicolor model(MTC) with a massless weak doublet recently presented by C. D. Carone and H. Georgi. The PGBs correction can decrease the total  $t\bar{t}$  production cross section by as much as  $-38\%$  for top mass of 176GeV and color octet PGBs mass of 150GeV in the OGTC model, which is potentially observable at the Tevatron. However, the results show that the corrections to the process are unmeasurably small in the MTC model.

**Key words** generation TC model, massless scalar doublet, Goldstone boson.