

近赤道太平洋表层和斜温层 海温的变化与 ENSO

赵其庚 李 骥 彭淑英

(国家气候中心, 北京 100081)

摘 要 用 NMC 1982~1993 年海洋再分析资料集, 分析近赤道太平洋 ($10^{\circ}\text{S}\sim 10^{\circ}\text{N}$) 海洋上层 (0~400 m) 温度的季节和年际变化特征。分析揭示, 上层海温的年际变化比季节变化大。在 ENSO 年或反 ENSO 年, 由于斜温层深度变化大, 斜温层附近的海温异常比海表还大, 无论在西太平洋暖水区, 还是东太平洋冷水区, 斜温层附近温度距平都可达 $\pm 7^{\circ}\text{C}$ 以上, 而且西太平洋暖水区的最大异常出现在赤道两侧 $4^{\circ}\sim 9^{\circ}$ 区域。

关键词 斜温层 海温距平 厄尔尼诺和南方涛动

1 引言

厄尔尼诺和南方涛动 (ENSO) 是目前观测到的最大的年际时间尺度的自然气候变化。它是一种行星尺度的海-气相互作用过程, 其中心区域在热带太平洋^[1]。由于海洋观测资料稀少 (特别是海表以下), 资料来源不同, 在时间上连续性差, 在空间上分布不均, 给 ENSO 研究工作带来很多困难。近 10 年来, 由于热带海洋和全球大气研究计划 (TOGA) 的进行, 对热带太平洋的观测有了很大改进, 对海-气相互作用的物理过程和海洋环流模式的研究也取得了很大进展, 使得对太平洋上层海洋资料的实时分析成为可能^[2]。美国国家气象中心 (NMC) 已建立起一个基于动力模式的海洋资料分析和同化系统^[3]进行日常 (每周一次) 的实时分析, 并用这个系统对 1982 年以后的资料重新进行了分析, 制成了目前最好的太平洋海洋分析资料集。本文将用 NMC 分析的 1982~1993 年逐月海洋资料, 分析近赤道太平洋 ($10^{\circ}\text{S}\sim 10^{\circ}\text{N}$) 海洋上层 (0~400 m) 温度的季节和年际变化特征, 特别是过去研究较少的西太平洋暖池斜温层附近的温度变化特征及与 ENSO 的联系。

2 资料

本文使用 1982~1993 年 NMC 再分析海洋资料集, 分辨率与 NMC 太平洋 28 层海洋环流模式一致。在 $10^{\circ}\text{S}\sim 10^{\circ}\text{N}$ 的近赤道区域, 水平方向经向为 $1/3$ 纬度, 纬向为 1.5 经度, 垂直方向在 400 m 以上有 19 层。资料来源包括船舶、卫星、锚定浮标、漂流浮标等各种观测。各项平均值均取 10 年, 即 1983~1992 年。

3 太平洋赤道区域上层海洋的平均温度

图 1 是根据 NMC 海洋同化资料绘制的 10 年 (1983~1992 年) 平均的海面温度 (SST) 和斜温层 (以 20°C 等温线表示) 深度。SST (图 1a) 东低西高, 东面的冷舌从秘鲁海岸 (10°S , 温度低于 21°C) 先伸向西北至赤道 (90°W), 然后沿赤道东伸, 因而在 165°E 至 90°W 的大部分太平洋, 赤道海温均低于南北两侧; 西面的暖中心位于 (165°E , 5°S) 附近, 温度近 30°C , 暖水区呈西北-东南向。斜温层 (图 1b) 东浅西深, 在东太平洋 SST 低于 24°C 的主要冷水区, 斜温层深度一般小于 50 m; 在西太平洋 SST 高于 28°C 的暖水区, 斜温层深度大多在 150 m 以上, 且西北浅东南深, 在 170°E 至 150°W , 8°S 附近深度达 200 m 以上。

从 10°N 、 5°N 、 0° 、 5°S 和 10°S 等 5 个纬度的海温垂直剖面 (图 2) 可细致地看到海洋上层 (400 m 以上) 的温度分布。海温垂直变化的特征是: (a) 斜温层 (20°C 线

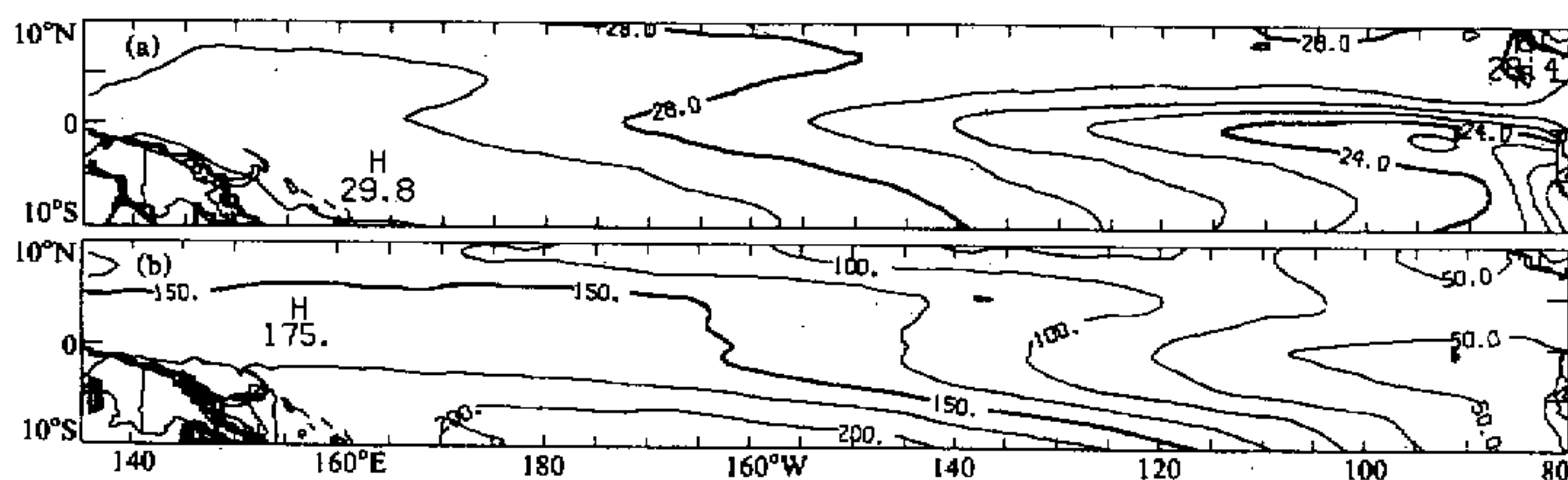


图 1 1983~1992 年平均海面温度 (a, 单位: $^{\circ}\text{C}$) 和平均斜温层深度 (b, 单位: m)

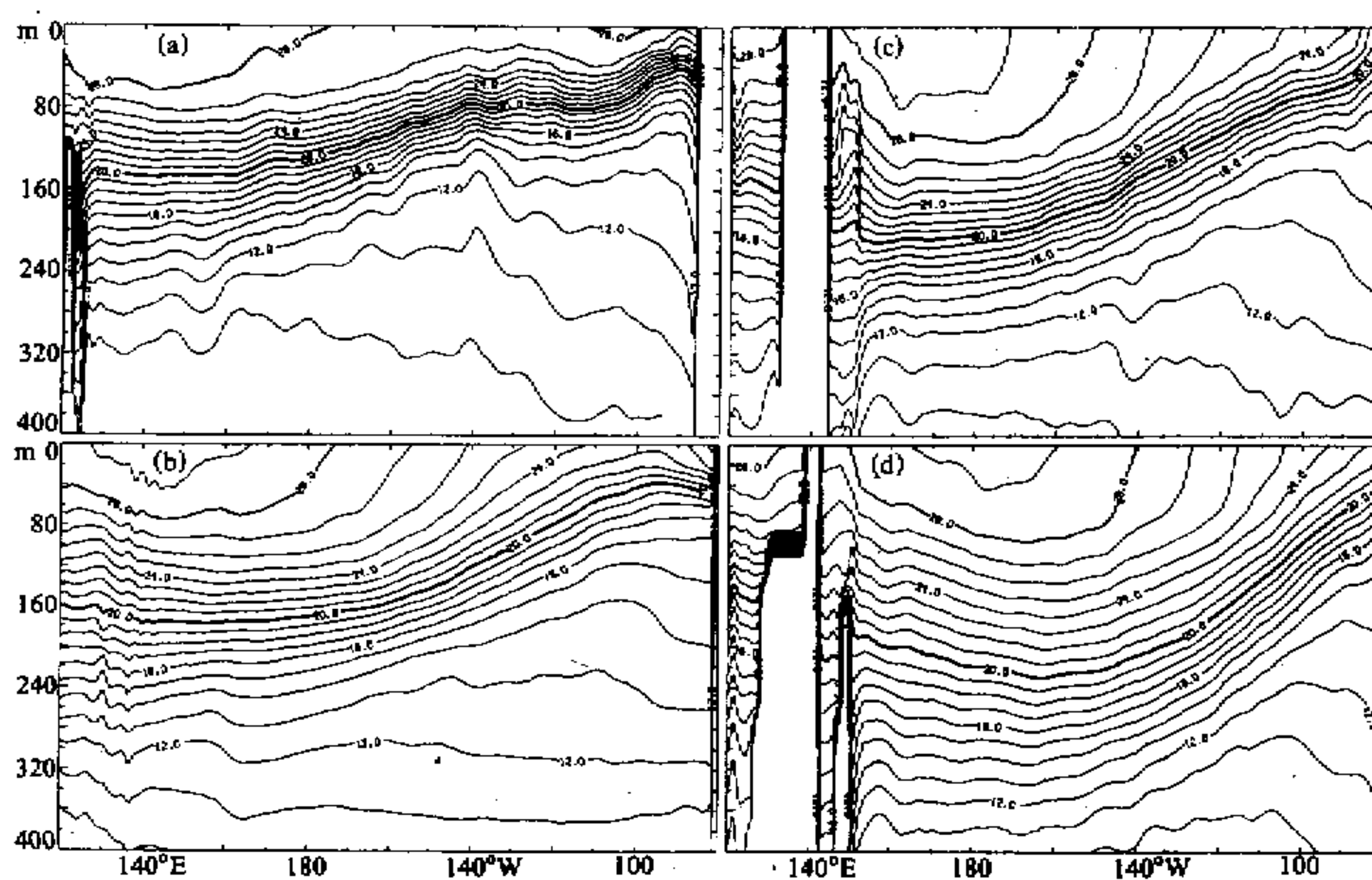


图 2 海温纬度剖面图

(a) 10°N ; (b) 0°N ; (c) 5°S ; (d) 10°S

附近) 垂直温度梯度最大, 不同纬度的几个剖面相比较, 北面的剖面斜温层的等温线比南面的剖面更密集, 即斜温层附近温度垂直梯度是从南向北增加, 10°N (图 2a) 处最大, 在东太平洋可达 $4^{\circ}\text{C}/20\text{ m}$ 。(b) 西太平洋 28°C 以上的暖水, 在 5°S (图 2c) 处最深, 在 $155^{\circ}\text{E}\sim 170^{\circ}\text{W}$ 区域可达 100 m 以上; 10°S (图 2d) 处的暖水, 在 $180\sim 150^{\circ}\text{W}$ 的中太平洋可达 80 m 以上; 赤道 (图 2b) 处的暖水层较浅, 仅为 60 m 深; 5°N (图略) 处为 70 m 左右。(c) 20°C 等温线以下至 400 m 深处, 温度由西高东低逐渐变为均匀或东部略高, 等温线接近水平。

4 季节变化

图 3 是 2、5、8 和 11 月平均 SST。由图可见, 太平洋海表温度的季节变化以东太平洋冷水区最明显。北半球东太平洋水温冬春高, 夏秋低, 2 月 (图 3a) 最高, 24°C 以下冷水区几乎不存在; 8 月 (图 3c) 最低, 秘鲁海岸附近降至 20°C 以下, 低于 24°C 的冷舌已西伸至 125°W 附近。西太平洋暖水区海表温度季节变化较小, 暖水区的范围是冬季 (2 月) 小, 夏秋大 (8、11 月)。

从斜温层 (以 20°C 等温线表示) 深度的季节变化 (图 4) 看, 在东太平洋, 斜温层冬春深, 夏秋浅, 浅于 50 m 的区域, 最大在 8 月 (图 4c), 最小在 2 月 (图 4a); 在西太平洋, 斜温层深度的季节变化也较小, 深度大于 200 m 区域的范围在冬季 (2 月) 和秋季 (11 月) 最大。

5 年际变化

赤道太平洋海面温度的年际变化最大在东部和中部冷舌区, 年际变化标准差的最大

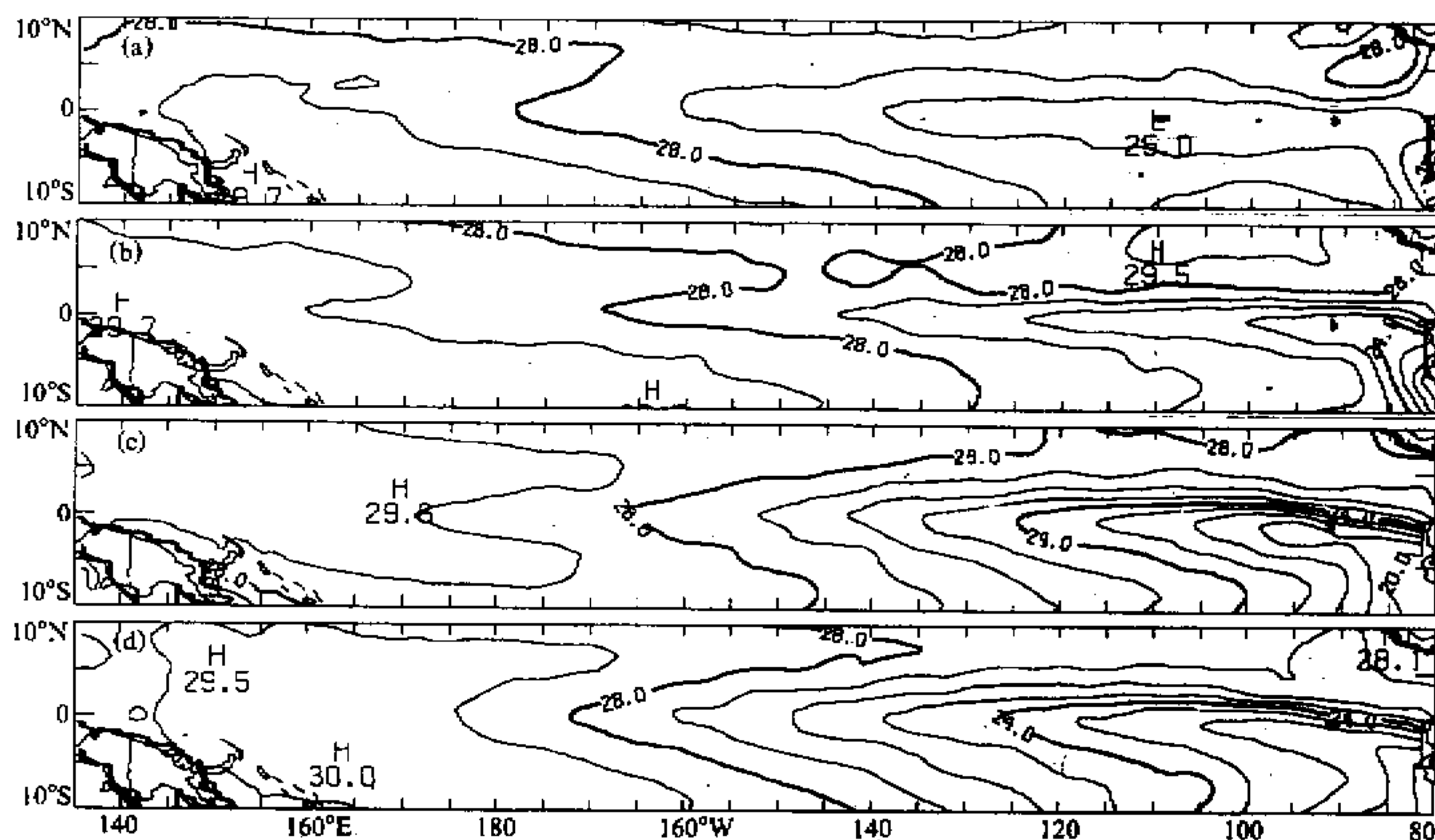


图 3 1983~1992 年 2 (a)、5 (b)、8 (c) 和 11 (d) 月平均 SST

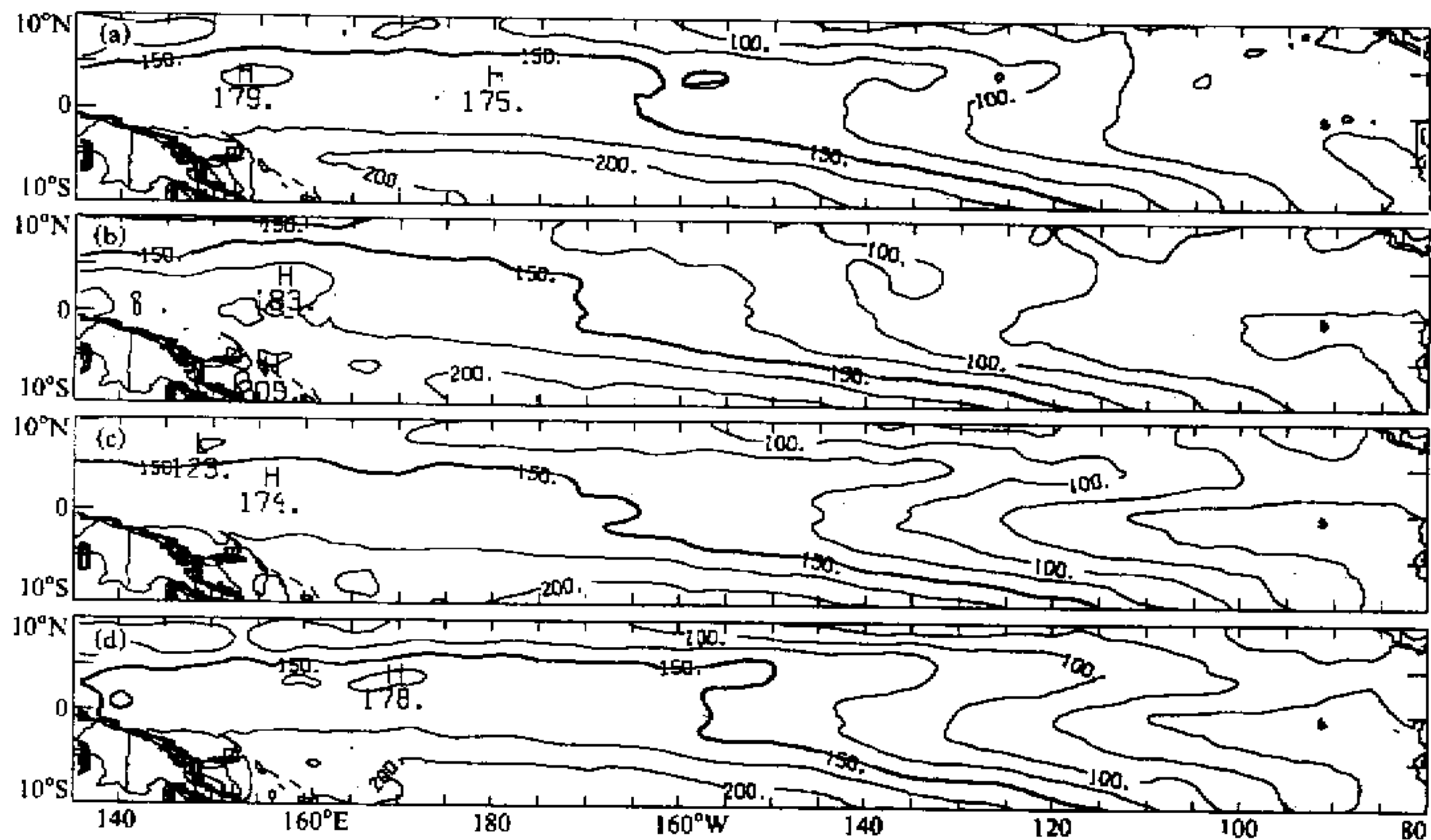


图4 1983~1992年2(a)、5(b)、8(c)和11(d)月平均斜温层深度。单位: m

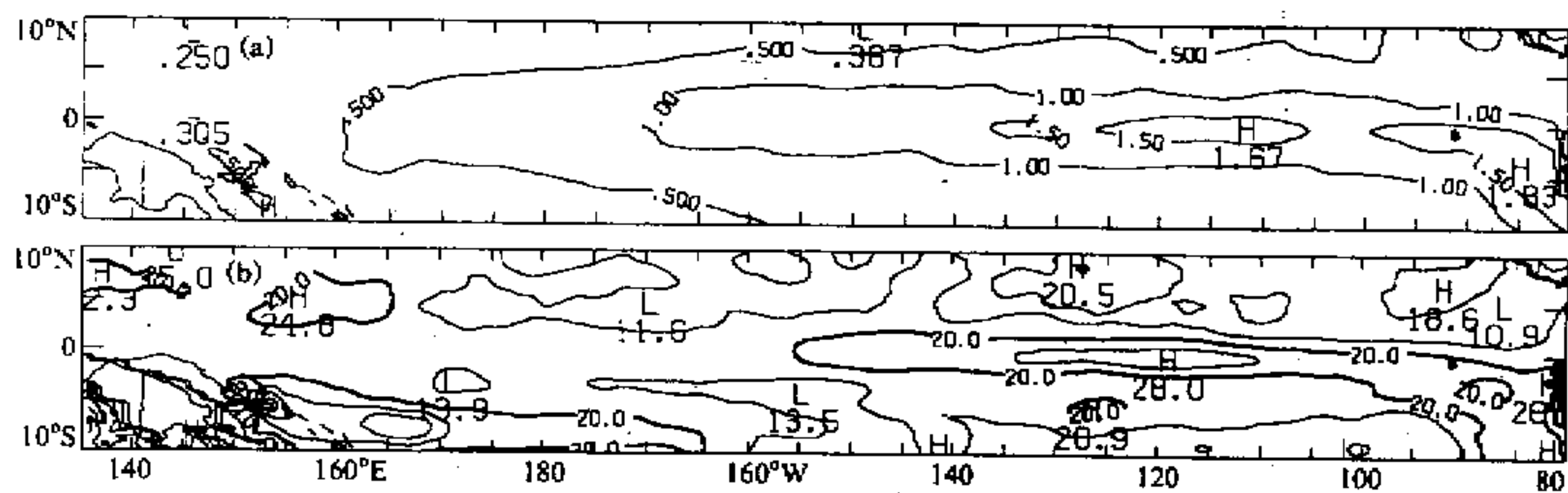


图5 1983~1992年平均海面温度年际变化标准差(a, 单位: $^{\circ}\text{C}$)和平均斜温层深度年际变化标准差(b, 单位: m)

区域几乎与冷舌中心线一致。变化达 1.5°C 以上(图 5a)的区域从秘鲁海岸伸至 135°W 附近。而在西太平洋暖水区年际变化一般在 0.5°C 以下。在一年中各月的年际变化(图略)以春季 5 月最大, 冷水区中部大于 2°C , 秘鲁海岸附近达 2.87°C ; 秋季 11 月次之, 年际变化最大区域在 $150^{\circ}\sim 110^{\circ}\text{W}$ 。图 5b 表示斜温层(以 20°C 等温线表示)深度的年际变化的标准差分布。东太平洋的冷舌区仍是变化最大区之一, 其标准差大都在 20 m 以上, 中心在赤道 $135^{\circ}\sim 110^{\circ}\text{W}$ 区(大于 25 m)。变化最大的中心在西太平洋暖池区($150^{\circ}\sim 170^{\circ}\text{E}$, $4^{\circ}\sim 9^{\circ}\text{S}$), 变化达 30 m 以上。此外在赤道以北还有二个大于 20 m 的中心, 分别在 5°N , 155°E 和 137°E , 6°N 。因此, 对于年际变化, 如果说在东太平洋应着重研究赤道冷水区的 SST 变化和下面斜温层的温度变化, 那么在西太平洋应更重视赤道两侧斜温层温度的变化。

为进一步了解上层海洋温度年际变化的特征, 我们分析了逐月沿赤道垂直剖面 and 沿暖池中心(155°E)及冷舌中心(90°W)的经度垂直剖面上的年际变化标准差。分析结

果表明, 最大年际变化出现在冬季 (1~2 月), 最小在夏秋 (7~9 月)。年际变化最大的深度在斜温层附近。由图 6 可见冬季 (1 月) 沿赤道、155°E 和 90°W 垂直剖面上的变化特征, 很明显, 年际变化最大的深度与平均的斜温层 (虚线) 很接近。在沿赤道的剖面 (图 6a) 上, 年际变化最大的区域在 140°W 以东, 该处大于 2°C (粗实线) 的范围从海表直至 150 m, 达 4°C 以上的区域在 110~80°W, 深度为 40~90 m。在西太平洋暖水区沿 155°E 的剖面 (图 6b) 上, 年际变化的最大区不在近赤道, 而是分别在赤道两侧, 赤道南的极大值位于 4°S, 深 190 m, 赤道北的位于 9°N, 深 130 m, 极大值均为 4°C 左右。由沿东太平洋冷水区 90°W 经度剖面 (图 6c) 可见, 年际变化达 4.59°C 的极大值出现在赤道附近, 40 m 深处。

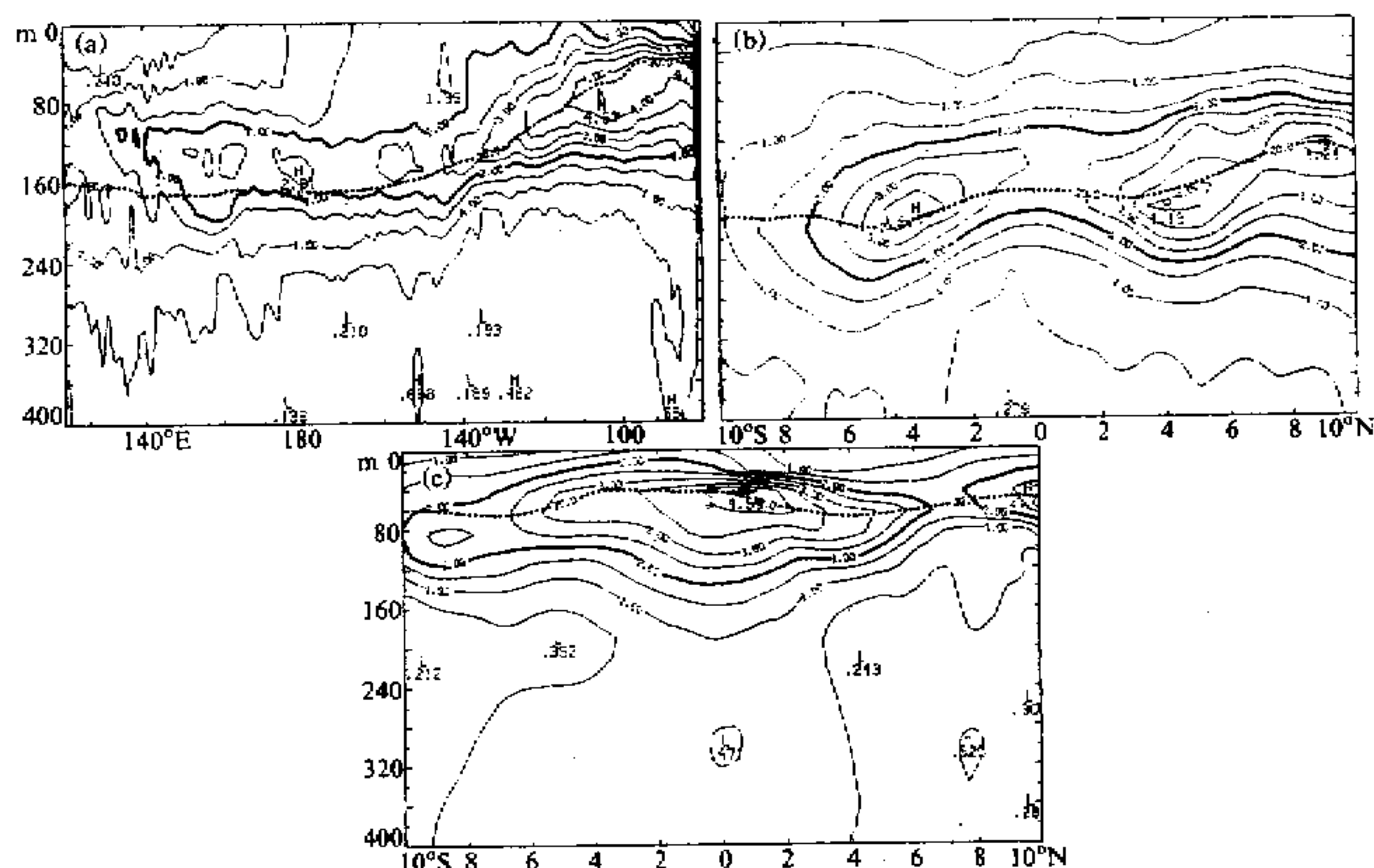


图 6 冬季 (1 月) 沿赤道、155°E 和 90°W 垂直剖面温度的年际变化标准差。单位: °C

6 ENSO 年和反 ENSO 年的年际变化特征

1982~1993 年中, 有 3 个 ENSO 年 (1982~1983、1986~1987 和 1991~1992 年) 和 1 个反 ENSO 年 (1989 年), 现选取最强的 ENSO (1982 年 12 月) 和反 ENSO (1988 年 12 月) 事件为例分析上层海温的异常特征。

由沿赤道剖面上 12 月平均的 20°C 温度线 (图 7 中粗虚线) 可见, 在常年 12 月, 赤道太平洋等温线密集的斜温层是东高西低, 160°W 以西位于 160 m 深附近, 在 110°W 以东仅为 40 m 左右, 160~110°W 斜温层倾斜最大。在 1982 年 (图 7a) 厄尔尼诺事件时, 东太平洋温度升高, 斜温层下降; 西太平洋斜温层上升, 28°C 以上暖水区变浅 (虚线为常年 12 月 28°C 线), 并向东太平洋扩展, 整个赤道太平洋的斜温层趋向水平。在 1988 (图 7b) 年的反厄尔尼诺事件时则发生相反的变化, 东太平洋温度降低, 斜温层上升达到海表; 西太平洋斜温层下降, 最深达到 200 多米。28°C 以上的暖水区收缩到 160°E 以西。

图 8a 表示 1982 年 12 月赤道垂直剖面上的海温距平分布, 可见东太平洋为正距平, 西太平洋为负距平。在中东太平洋, 表层正距平范围很大, 包括了 180° 以东全部地区, 最大正距平中心达 12.3°C , 位于 110°W , 100 m 深处, 相应的海表正距平达 5°C 。在西太平洋最大负距平中心为 -7.23°C , 位于 175°E , 130 m 深处, 相应的海表负距平仅为 -0.5°C 左右。这表明 ENSO 年海温异常, 最大不在海表层而在斜温层附近。图 8b 是 1982 年 12 月的西太平洋暖水区 155°E 垂直剖面的距平, 可见虽然暖池海表温度的负距平很小, 但在深处的负距平却相当大, 而且最大中心又不在赤道上, 最大值在赤道北达 7.44°C 位于 9°N , 120 m 深处, 另一极大值在赤道以南为 -4.98°C , 位于 5°S , 200 m 深处。

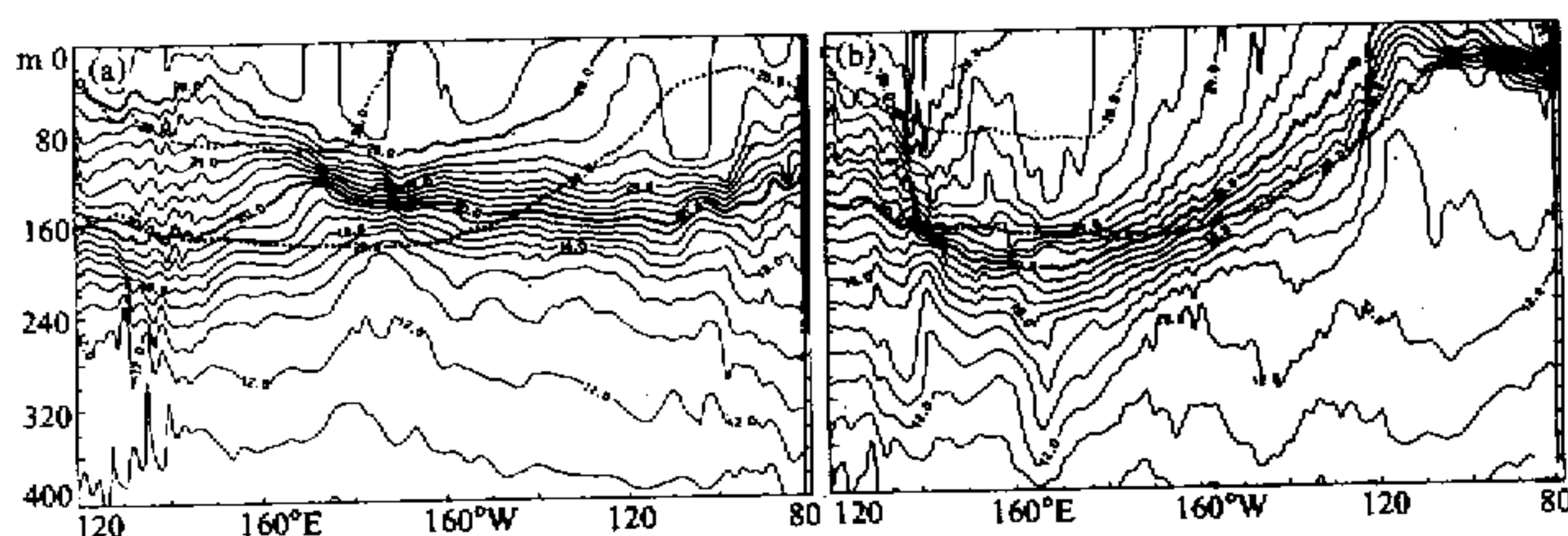


图 7 1982 年 12 月 (a) 和 1988 年 12 月 (b) 沿赤道的海温垂直分布

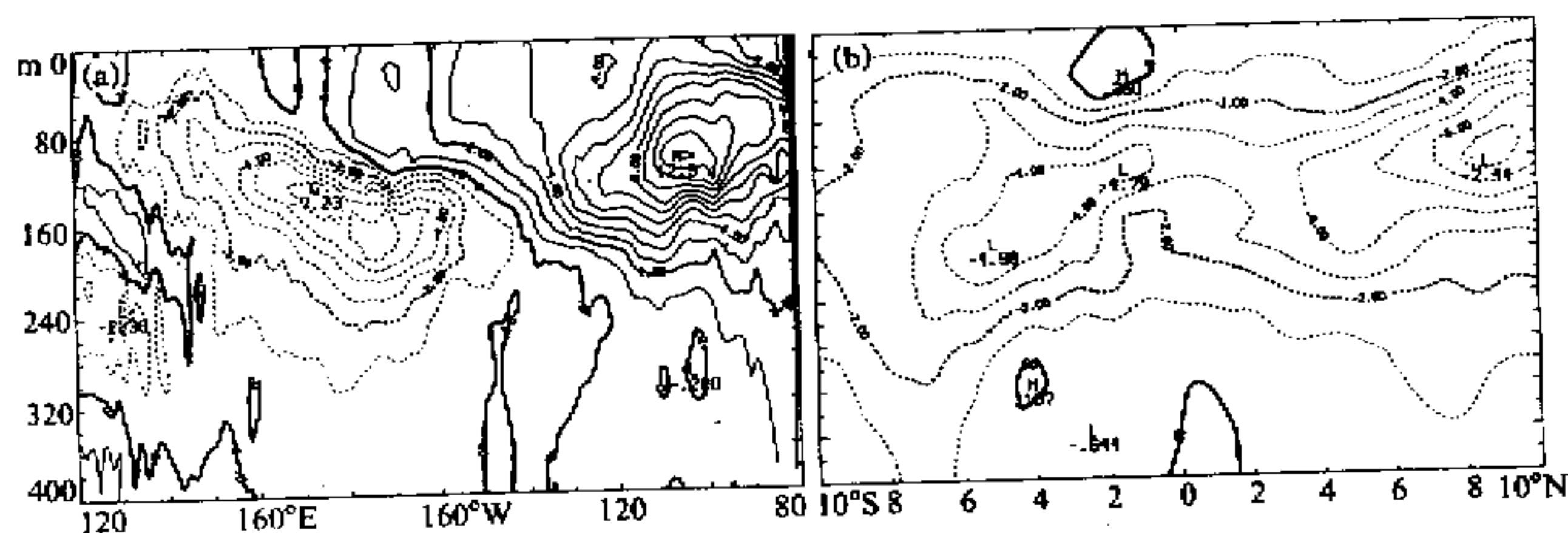


图 8 1982 年 12 月沿赤道 (a) 和 155°E (b) 海温距平的垂直分布。单位: $^\circ\text{C}$

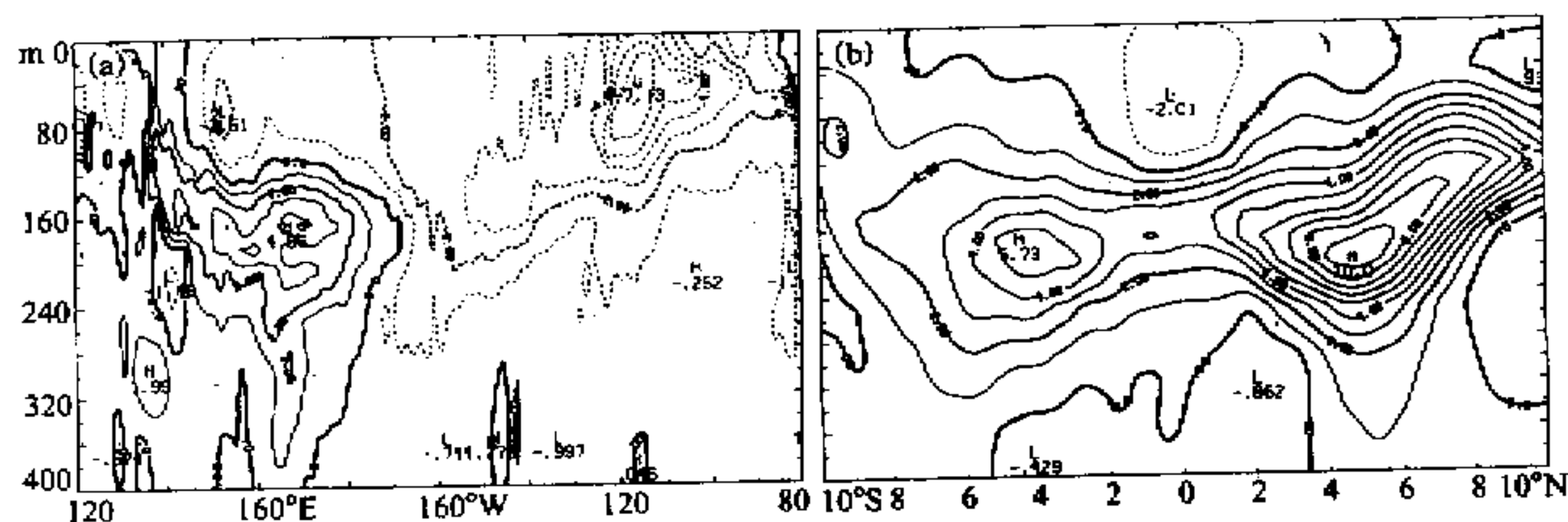


图 9 1988 年 12 月沿赤道 (a) 和 155°E (b) 海温距平的垂直分布。单位: $^\circ\text{C}$

图 9 是反 ENSO 事件时 (1988 年 12 月) 温度距平。在赤道垂直剖面上 (图 9a) 海表层除西太平洋 140°E 附近几乎全为负距平, 东太平洋的最大负中心为 -7.13°C 位于 120°W , 40 m 深附近。在暖池中心区 155°E 剖面 (图 9b) 上, 虽然海表大部距平为负值, 但在深层皆为正值, 赤道以北最大正距平达 10°C 位于 5°N , 210 m 深处, 赤道以南的正距平中心达 5.73°C 位于 4°S , 200 m 深处。说明此时西太平洋暖池的升温也是在海面以下的斜温层附近最大。

7 总结

通过上述分析, 对近赤道太平洋上层海温的变化特征可总结如下:

(1) 1983~1992 年 10 年平均的 400 m 以上的海温分布表明, 海表下面等温线密集的斜温层由东向西倾斜, 在赤道东太平洋 110°W 以东冷舌中心区 (海表温度在 24°C 以下) 小于 50 m, 而在西太平洋暖水区 (海表温度大于 28°C) 斜温层深度一般在 150 m 以上, 在 $170^{\circ}\text{E}\sim 150^{\circ}\text{W}$, 8°S 附近斜温层最深达 200 m 以上。斜温层的垂直温度梯度在 $10^{\circ}\text{S}\sim 10^{\circ}\text{N}$ 范围内是从南向北增加, 东太平洋 10°N 处最大可达 $4^{\circ}\text{C}/20\text{ m}$ 。

(2) 西太平洋暖池 28°C 以上的暖水深度一般超过 60 m, 在 5°S , $155^{\circ}\text{E}\sim 170^{\circ}\text{W}$ 附近最深可达 100 m 以上。

(3) 海表温度的季节变化, 在东太平洋冷舌区最明显, 特征是冬春高, 夏秋低, 相应斜温层是冬春深, 夏秋浅。西太平洋海表温度季节变化较小, 暖水区的范围是冬季小, 夏秋大, 斜温深度随季节变化不大。

(4) 海表温度年际变化最大的区域也是东太平洋冷舌区, 年际变化的标准差达 1.5°C 以上, 近秘鲁海岸区域可达 2.5°C 以上。斜温层深度年际变化最大的区域在西太平洋暖池区, 在 $150\sim 170^{\circ}\text{E}$, $4\sim 9^{\circ}\text{S}$ 区域, 最大可达 30 m 以上。另一个极大值区在东太平洋冷水区, 变化达 20 m 以上。

(5) 海洋上层 (0~400 m) 温度年际变化的最大区不在海表, 而是在斜温层附近。在东赤道太平洋冷水区 ($110\sim 80^{\circ}\text{W}$) 年际变化的标准差可达 4°C 以上, 深度在 40~90 m。从冷水区中心 (90°W) 温度变化的经向分布看, 最大变化中心在赤道。在西太平洋暖水区 (155°E 附近) 最大变化中心分别在赤道两侧, 南侧的位于 4°S , 190 m 深, 北侧的位于 9°N , 130 m 深, 年际变化的标准差都可达 4°C 左右。

(6) 在厄尔尼诺和反厄尔尼诺年, 海温年际变化超过季节变化, 斜温层附近的温度异常比海表层异常大得多。无论在东太平洋冷水区, 还是在西太平洋暖水区, 斜温层附近温度距平均可达 $\pm 7^{\circ}\text{C}$ 以上, 但是在西太平洋暖水区, 最大异常不是出现在赤道, 而是在赤道两侧 $4^{\circ}\sim 9^{\circ}$ 区域。因此对暖池温度年际变化异常的研究更应重视斜温层, 特别是赤道两侧的斜温层的异常变化。

参 考 文 献

- 1 Cane, M. A., 1992, Tropical Pacific ENSO models: ENSO as a mode of coupled system, *Climate System Modeling*, K. Trenberth, Ed., Cambridge University Press, 583~614.

- 2 Baker, J., 1994, A Proposal to Launch a Seasonal to Interannual Climate Prediction Program, NOAA, U.S. Department of Commerce.
- 3 Ji, M., A. Leetmaa and J. Derber, 1995, An ocean analysis system for seasonal to interannual climate studies, *Mon. Wea. Rev.*, 123, 460~481.

The Sea Temperature Variation from Sea Surface to Thermocline in the Equatorial Pacific and Its Relation with ENSO

Zhao Qigeng, Li Ji and Peng Shuying

(National Climate Center, Beijing 100081)

Abstract Using NMC reanalyzed ocean dataset in 1982~1993, the interannual and seasonal variations of upper level (0~400 m) in the equatorial Pacific (10°S~10°N) are analyzed. The analyses suggest the interannual variation of upper level temperature is larger than that of seasonal variation. In El Nino or La Nina year, the temperature anomalies near thermocline are more significant than those in sea surface since the depth of thermocline changes rapidly. The temperature anomalies near thermocline both in western warm pool and eastern cold tong can reach 7°C or above. In the warm pool the extreme anomalies are often in both side of the equator (4°~9°).

Key words thermocline sea temperature anomaly ENSO