

全球对流层顶气压场和温度场的时空演变结构特征^{*}

王卫国¹, 樊雯璇¹, 吴 润¹, 孙绩华², 袁 敏¹, 杨 茜¹, 王颖¹

(1. 云南大学 大气科学系, 云南 昆明 650091; 2. 云南省气象科学研究所, 云南 昆明 650034)

摘要: 利用 1948~2004 年共 57 年的对流层顶气压场和温度场资料, 对全球对流层顶平均温压场的空间分布结构、年际和年代际变化以及季节变化进行了分析. 结果表明: ① 热带对流层顶和极地对流层顶的平均气压场的空间位置和热状况大致吻合, 并存在空间波动性, 两半球对流层顶的温压场具有显著的非对称性; ② 对流层顶的纬向气压与温度距平场都具有不同尺度的年际和年代际变化, 两极地区对流层顶的温压场最不稳定, 两半球中纬度地区的时间演变尺度存在明显差异. 对流层顶断裂带及其对应温度的时空波动存在反位相关系, 20 世纪 70 年代末温度出现突变现象, 此时对流层顶断裂带迅速向南部空间移动; ③ 不同季节对流层顶的温压场都将进行空间结构的调整, 两者之间存在着季节变化的协调性, 但北半球较南半球的演变过程复杂; ④ 对流层顶温压场纬向距平的季节变率可划分为 5 个位相不同的时空波动区域, 构成了气压场和温度场的经向型相关结构. 北极地区气压场变化有超前于温度场变化的趋势, 对流层顶断裂带的温度季节变化存在着双峰波动结构. 冬半年断裂区的地理位置较夏半年稳定, 气压场和温度场的最大季节变程均发生在南极.

关键词: 对流层顶; 气压场; 温度场; 年际和年代际变化; 季节变化; 时空结构

中图分类号: P 421.33 **文献标识码:** A **文章编号:** 0258-7971(2006)02-0127-09

大气圈层作为一个整体, 发生于对流层的天、气候过程对平流层大气有重要影响, 同时平流层的热力及动力结构的改变和调整也终将会影响到对流层环流. 对流层顶是对流层和平流层之间的过渡层, 是 19 世纪末 20 世纪初与平流层同时被发现的, 对流层顶从被发现的时候就引起了科学家们的极大关注^[1]. 对流层-平流层相互作用对气候和环境的影响是通过不同尺度和多种类型的物理、化学过程实现的^[2,3], 目前迫切需要了解其耦合过程的发展和演变, 以及平流层-对流层之间交换(stratosphere-troposphere exchange, 即 STE)的规律, 而这些过程和规律同对流层顶结构的变化有着紧密的联系. 对流层顶的结构状况在很大程度上决定着不同源地的能量及质点能否在平流层和对流层之间进行交换输送. 平流层与对流层交换是一种发生在平流层下部和对流层上部的重要动力过程^[4-6], 此过程不仅常会造成能量动量的交换, 还可促使水汽、气溶胶和臭氧等痕量气体成分的垂直

迁移, 改变其在平流层和对流层中的分布廓线状态^[7], 从而产生辐射强迫效应, 并可导致大气垂直结构变性, 对气候和环境产生重要影响^[8,9].

大气在垂直方向远非齐次均匀, 除了密度随指数衰减外(气压平衡和气体法则的结果), 还有垂直温度梯度的不连续性和化学组分的不同. 不像密度廓线无特征, 温度廓线和化学组成为按层分类提供了基础. 大气层的划分和它们的一些特性可由辐射对流平衡解释, 这是温度廓线的理论判据. 对流层顶温度梯度不连续, 而温度却始终连续. 通过这一特征采用热力学方法定义对流层顶为 500 hPa 等压面之上温度递减率小到 2 °C/km 或以下的最低高度, 而且在此高度与其上 2 km 气层内的温度平均直减率不超过 2 °C/km^[10]. 对流层顶还是湍流混合的对流层与稳定的平流层之间的过渡边界, 在不同的时间尺度中两者的环流存在着相互关联. 例如, 平流层大气环流的季节转换比对流层环流季节转换超前, 大气环流季节转换则对流层顶的温压场

* 收稿日期: 2005-09-23

基金项目: 中国气象局成都高原气象开放实验室基金课题(LPM 2005001); 云南省自然科学基金资助项目(2003D0011M, 2005D0006M); 国家自然科学基金资助项目(40165001, 40205016).

作者简介: 王卫国(1956-), 男, 山西人, 教授, 博士生导师, 主要从事大气环境变化及气候效应方面的研究.

结构也将发生调整. 对流层顶也是反映各种大气过程的一个很好的指示器, 它在气压形势、气团平流、环流形势的更替等作用下发生变化. 对流层顶参与了全球的和长期的大气演变过程, 特别在对流层上部平流层下部的大气环流过程中起着非常重要的作用. 为了描述对流层顶的结构, 可能的方法是从获取的观测资料或模拟数据中, 分析描述这些资料和数据的结果, 揭示其演变的物理过程. 在此我们利用 1948~2004 年共 57 年对流层顶温压场的 NCEP 资料, 对全球对流层顶气候场的空间结构、年际和年代际以及季节变化进行分析, 这对深入研究对流层顶演变在全球气候变化中的作用具有重要科学意义.

1 对流层顶平均温压场的空间结构

图 1 和图 2 分别给出了 1948~2004 年全球对流层顶的平均气压场与温度场的空间分布结构. 可

以看到两半球的极地都存在对流层顶气压高值中心, 从极地向赤道对流层顶的气压值逐渐递减, 等压线基本呈纬向型分布, 在副热带及中纬度地区对流层顶的等压线纬向分布明显, 但等压线也有海陆空间分布的槽脊结构特征.

副热带地区等压线和等温线的经向梯度最大(对流层顶的倾角最大), 此即对流层顶断裂区, 其实是极地对流层顶向热带对流层顶过渡区域, 且以 150 hPa 等压线为分界, 150 hPa 等压面的高度通常在 14 km 波动(标准大气条件下为 13.6 km). 在 30°N~30°S 之间是热带对流层顶, 其他区域为极地对流层顶. 对流层顶对应的温压场空间分布相类似, 温度从赤道向两极递增, 但在南半球中纬度存在纬向型的高温中心. 结合图 3 可知, 两半球的对流层顶气压场、温度场均具有非对称性. 北极对应的纬向平均气压值大于 300 hPa, 温度高于 225 K. 南极对应的气压值小于 270 hPa, 温度低于 216 K.

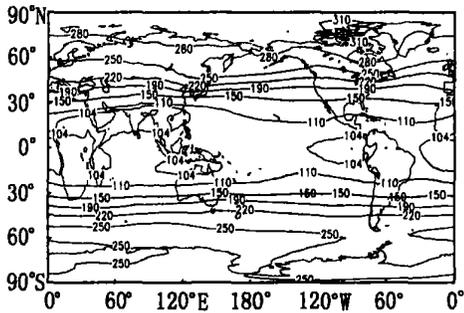


图 1 1948~2004 年对流层顶的平均气压场(单位: hPa)
Fig. 1 The global tropopause mean pressure from 1948 to 2004 (unit: hPa)

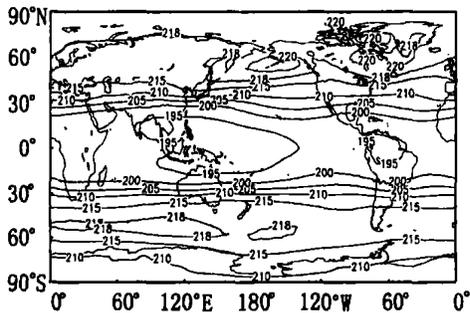


图 2 1948~2004 年对流层顶的平均温度场(单位: K)
Fig. 2 The global tropopause mean temperature from 1948 to 2004 (unit: K)

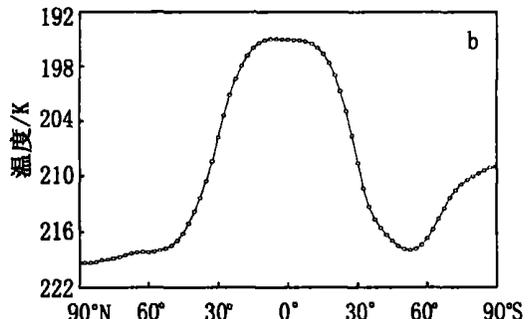
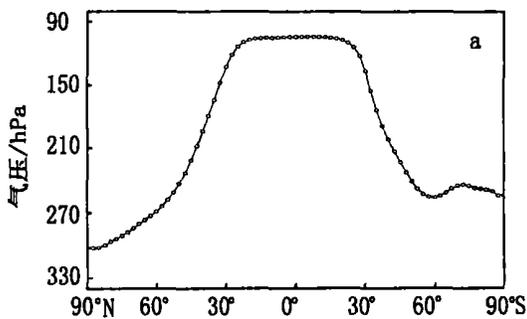


图 3 全球对流层顶(a) 气压场的纬向平均剖面, (b) 温度场的纬向平均剖面
Fig. 3 The global tropopause zonal mean sections of (a) pressure, (b) temperature

30°N~30°S 之间的热带对流层顶存在 3 个气压低值中心(位势高度的高值中心), 其平均气压值约为 100 hPa, 一个位于赤道东太平洋 160°W 以东及厄瓜多尔, 另一个在印度尼西亚与澳大利亚之间的努沙登加拉群岛, 同时在大西洋和赤道非洲还存在一个中心. 对应区域为温度的低值中心, 其中位于赤道中西太平洋上空有温度值低于 190 K 的最显著中心.

南北两半球从副热带至两极为极地对流层顶, 北半球的气压值经向变化在 150~320 hPa 之间, 伊丽沙白女王群岛上空是气压值大于 320 hPa 的高值中心. 南半球的气压值在 150~280 hPa 之间, 极区气压高值中心的气压值大于 280 hPa. 很显然, 两极的极地对流层顶存在非对称性的空间分布结构. 有趣的是温度场其非对称性尤为显著, 北半球的温度值向北极递增(213~228 K), 在科迪亚克岛的最强中心超过 228 K. 南半球从副热带至 50°S 温度梯度为正, 温度值在 216~225 K 之间, 在 50°S 有温度值超过 225 K 的纬向分布高值中心. 从 50°S 到极地温度梯度减小为负, 温度值在 225~216 K 之间, 南极上空有温度低于 216 K 的低值中心.

从图 1 中还可以看出, 对流层顶断裂区存在空间波动性, 150 hPa 等压线的空间分布在北半球的波动较强, 且与 213 K 等温线的空间波动相似, 具有明显的海陆分布结构特征. 而南半球的波动较弱, 与 216 K 等温线空间波动相联系.

2 对流层顶的年际和年代际变化

图 4 和图 5 是 1948~2004 年对流层顶纬向平

均气压距平场与温度距平场时空演化分布特征. 可以看到, 温压距平场都具有多时间尺度的演变结构特征, 在空间结构上高纬与极区、中纬度地区、赤道和热带地区的时间演变尺度明显不同. 南半球的时空差异比北半球显著, 特别是在中纬度尤为明显. 时空演变也具有经向分布的位相超前滞后结构, 注意到北半球中高纬存在有向南半球中高纬传播的振荡结构. 两极温压场的时间演变尺度较小, 其结构最不稳定. 1940 年代末南极出现了超过 -36 hPa 的最大气压负距平和超过 -8 K 的最大温度负距平. 到 1970 年代末期则出现了超过 20 hPa 的最大气压正距平, 而温度的正距平开始增加. 从 1970 年代末期至 1990 年代中期, 北半球副热带及其以南的整个南半球为最强的温度正距平持续期, 最大温度正距平超过 3 K.

从图 6 看到 150 hPa 等气压线的空间波动与对应温度的时间演变呈反相关趋势, 即对流层顶断裂区温度升高, 断裂区将南移, 反之亦然. 20 世纪 70 年代末温度出现突变, 这一现象在南半球比北半球显著, 此时 150 hPa 等气压线迅速向南部空间移动. 北半球 150 hPa 等气压线的时间演变尺度大于南半球, 空间波动范围在 31.2°~34.2°N 之间, 温度在 207.5~209.6 K 间波动. 南半球分别对应 30.0°~33.5°S 范围内和 209~213 K 之间. 可见两半球 150 hPa 等气压线均有向南传播的空间结构特征, 且在南半球尤为明显, 也即对流层顶断裂带温度的升高将伴随着断裂带空间位置的南移.

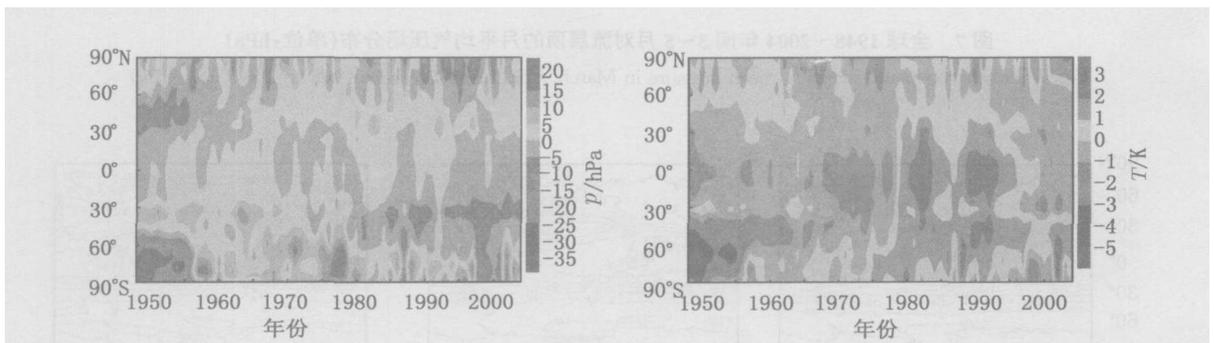


图 4 对流层顶纬向气压距平的时间变化

Fig. 4 Interannual variation of the global tropopause zonal means pressure anomalies

图 5 对流层顶纬向温度距平的时间变化

Fig. 5 Interannual variation of the global tropopause zonal means temperature anomalies

3 对流层顶的季节分布变化

图 7 和图 8 给出了 3~5 月对流层顶的月平均温度场分布. 此时段北半球为春季, 是冬到夏的过渡季节, 太阳高度角逐渐增大. 在天文上春季是指春分到夏至之间时段, 而南半球对应于秋季.

从图 7 中看到两半球气压场的空间分布及其变化截然不同, 北半球极地对流层顶的等压线变化

由非纬向型趋向于纬向型, 南半球的变化则反之. 同样, 南半球热带对流层顶的等压线由非纬向型趋向于纬向型分布, 北半球有相反的变化趋势. 其中北半球极地对流层顶的变化最显著, 而且副热带大陆上的经向气压梯度大于海洋上空. 很显然, 3~5 月北半球对流层顶的变化比南半球明显, 而热带对流层顶的变化不如极地对流层顶的变化明显, 同时在赤道地区热带对流层顶的变化较小.

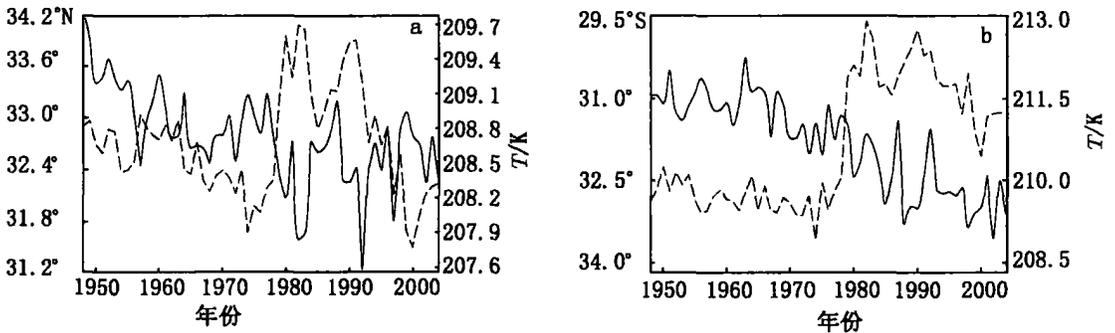


图 6 对流层顶 150 hPa 等压线(实线)及对应温度(虚线)在(a)北半球和(b)南半球的时间变化

Fig. 6 The interannual variations of the tropopause 150 hPa isopiestic (solid line) and corresponding temperature (dashed line) in (a) the Northern Hemisphere and (b) the Southern Hemisphere

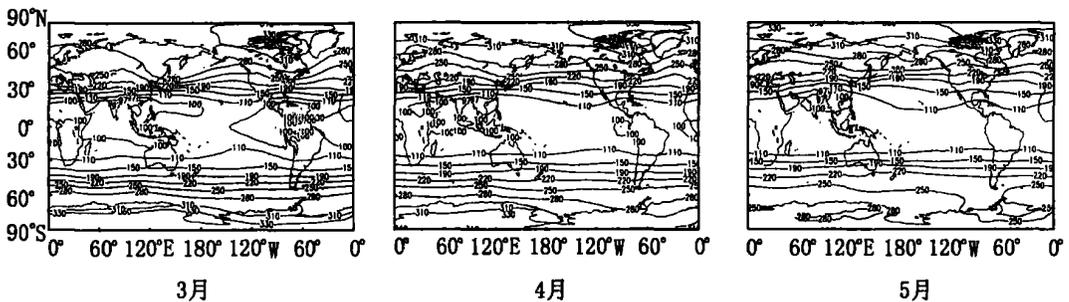


图 7 全球 1948~2004 年间 3~5 月对流层顶的月平均气压场分布(单位: hPa)

Fig. 7 Global tropopause monthly mean pressure in March, April and May from 1948 to 2004 (unit: hPa)

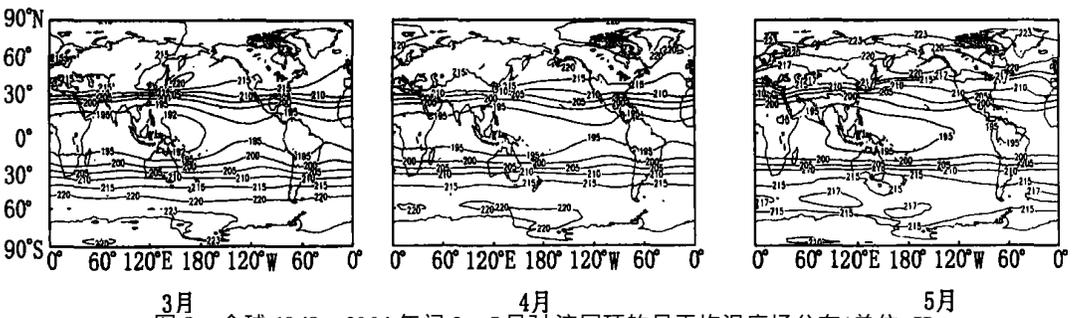


图 8 全球 1948~2004 年间 3~5 月对流层顶的月平均温度场分布(单位: K)

Fig. 8 Global tropopause monthly mean temperature in March, April and May from 1948 to 2004 (unit: K)

图 8 中的温度场结构有类似于气压场的时空变化, 但空间结构较复杂, 其变化不如气压场显著, 似乎温度场变化趋势滞后于气压场. 两半球极地对流层顶和热带对流层顶的温度变化分别在 216~231 K、201~216 K 之间, 北半球副热带海洋上的经向温度梯度小于大陆上空, 分别对应于温度脊和槽. 5 月南半球高纬开始出现大于 217 K 的中心.

图 9, 10 给出了 6~8 月对流层顶的温压场的分布变化. 天文上将夏至到秋分之间的时段称为夏季, 这一时段北半球为夏季, 太阳高度角较大, 是全年最温暖的季节, 而此时南半球为冬季. 从图 9 中看出北半球极地对流层顶的纬向型分布趋势得到加强, 对流层顶断裂区明显北移, 热带对流层顶出现较强的纬向空间波动, 在青藏高原南侧有 100 hPa 的最低气压中心. 南半球的热带对流层顶呈明显的纬向型分布, 副热带地区的经向气压梯度较强, 而中纬度地区极地对流层顶气压高于极区的气压值, 并有超过 260 hPa 的高值中心, 极地则存在

160 hPa 的低值, 这是一种特殊现象.

从图 10 知两半球温度场分布较为均匀, 经向温度梯度达到全年的最小值. 热带对流层顶与极地对流层顶的温度为 215~195 K 和 215~230 K. 在北半球中纬度以南的大陆上空仍维持着等压线和等温线的脊区, 槽区出现在海洋上空, 其中 7 月的经向温度梯度较大. 南半球 30°~60°S 之间有超过 215 K 的纬向型的温度高值中心带, 并与此纬度带上的极地对流层顶气压高值带相对应. 8 月南极的伯克纳岛沿岸有 192 K 的温度低值中心.

北半球 9~11 月是秋季, 太阳高度角逐渐变小, 温度逐渐降低, 天文上将秋分到冬至间的时段称为秋季, 而南半球则为春季. 图 11, 12 给出了 9~11 月对流层顶的温压场分布. 从图中看到, 温压场均已明显调整, 调整趋势与 3~5 月相反, 即北半球极地对流层顶的等压线由纬向型趋向非纬向型, 巴芬岛有 310 hPa 的高压中心, 南半球中纬度高压中心向极地的罗斯海沿岸转移.

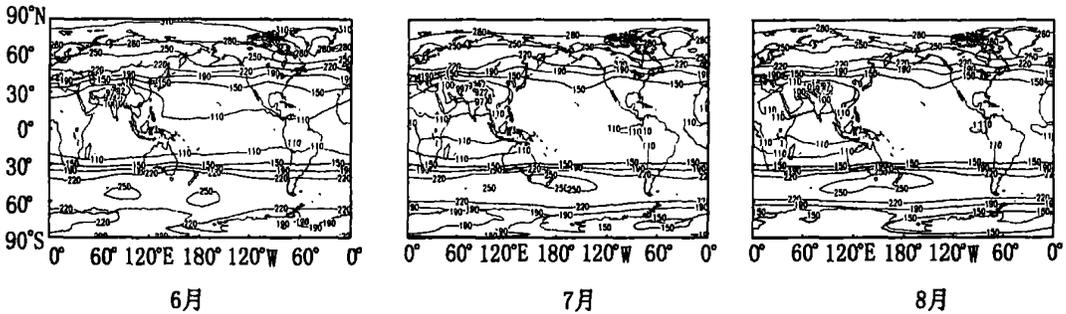


图 9 全球 1948~2004 年间 6~8 月对流层顶的月平均气压场分布(单位: hPa)

Fig. 9 Global tropopause monthly mean pressure in June, July and August from 1948 to 2004(unit: hPa)

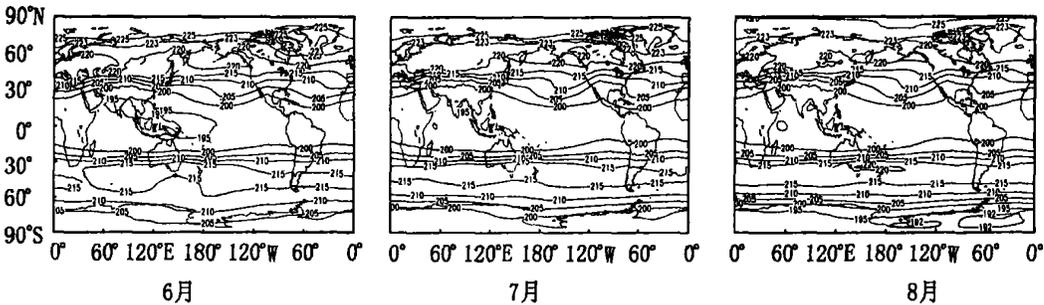


图 10 全球 1948~2004 年间 6~8 月对流层顶的月平均温度场分布(单位: K)

Fig. 10 Global tropopause monthly mean temperature in June, July and August from 1948 to 2004(unit: K)

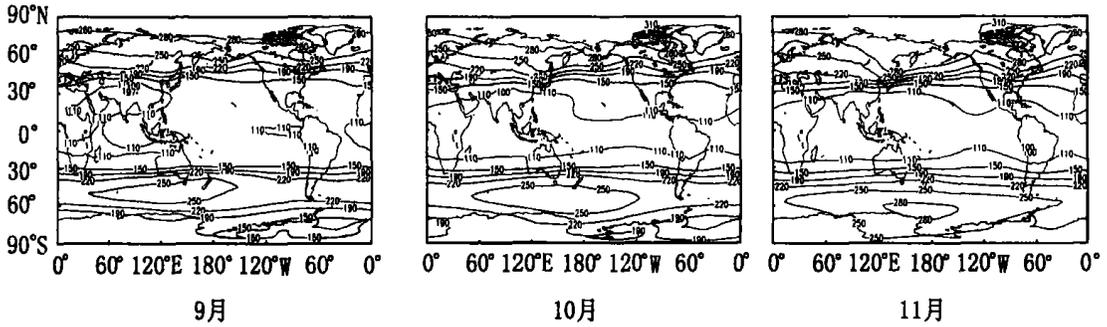


图 11 全球 1948~ 2004 年间 9~ 11 月对流层顶的月平均气压场分布(单位: hPa)

Fig. 11 Global tropopause monthly mean pressure in September, October and November from 1948 to 2004(unit: hPa)

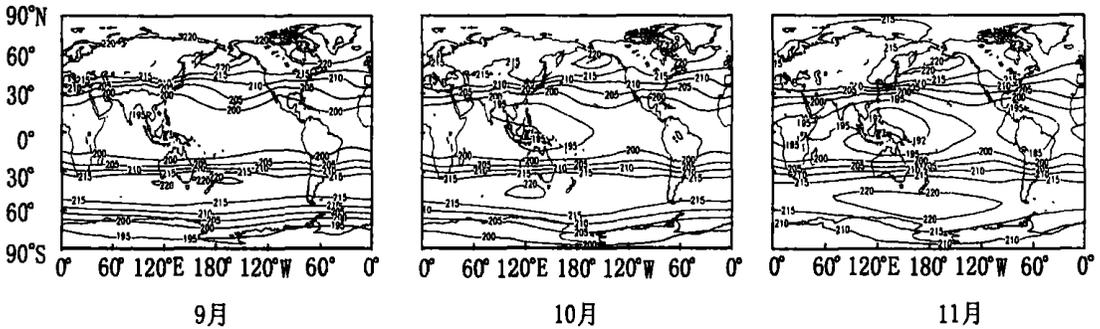


图 12 全球 1948~ 2004 年间 9~ 11 月对流层顶的月平均温度场分布(单位: K)

Fig. 12 Global tropopause monthly mean temperature in September, October and November from 1948 to 2004(unit: K)

北半球极地对流层顶的变化最显著,而且副热带及中高纬海洋上空的气压槽东移,陆地上空的经向气压梯度大于海洋上空.同样北半球气压场的变化比南半球明显,热带对流层顶的变化不如极地对流层顶.

温度场的变化比气压场迅速,似乎温度场有超前于气压场的空间变化趋势.南北两极温度场的空间结构完全相反,在北极地区形成了白令海和巴芬湾为高温中心的非纬向型空间分布结构.在两半球的副热带温度经向梯度都有所增强,海洋上的经向温度梯度小于大陆.11月赤道附近存在与大陆相对应的东非、哥伦比亚和西太平洋上空的3个热带对流层顶温度低值中心,温度最低值低于195 K.在南半球中高纬地区是纬向型分布的高温区,中心最高温度超过220 K.由此可见,9~11月在从北向南的对流层顶纬度带上形成了温度场的两高两低空间分布结构,北极高温区-赤道低温区-南半球中高纬高温区-南极低温区.

冬季太阳高度角较小,是全年最寒冷的季节.天文上将冬至到春分时段称为冬季,在北半球指12~2月,此时南半球为夏季.图13,14分别是12~2月对流层顶的温压场.可以看到北半球极地对流层顶的温压场均呈显著的纬向波动,气压场空间波动范围比南半球大,其

纬向分布遭到破坏,经向梯度增强,大陆东岸等压线向南弯曲,大陆西岸等压线向北弯曲.在鄂霍次克海和巴芬岛形成了高压闭合区,中心气压值超过310 hPa.中美洲太平洋西岸出现气压值小于97 hPa的低值中心,1月南极罗斯海西岸是320 hPa的高压中心.

12~2月北半球等温线的空间变程要复杂些,但温压场之间的协调性表现得很明显.如,欧洲大陆南部温度往南是上升的,同一方向上对流层顶的气压值在递减.对流层顶2个超过215 K的高温中心与鄂霍次克海和巴芬岛2个高压中心有对应关系,但温度高值中心的地理位置已向南倾.与9~11月温度场比较,在赤道地区温度低值中心其地理位置较为稳定,但范围已扩大.南半球等温线的分布平稳,温度在200~225 K之间变化.12月60°S附近的纬向型高温中心仍然存在,但地理位置有所南移,中心最高温度已由220 K升高到大于223 K.2月在南极极地对流层顶有1个温度超过225 K高值中心.概括而言,温度场与气压场分布之间有着相当密切的联系,高温区与高压区的对流层顶相吻合,低压区与低温区的对流层顶相对应,南半球对流层顶的断裂区在30°~40°S之间波动.

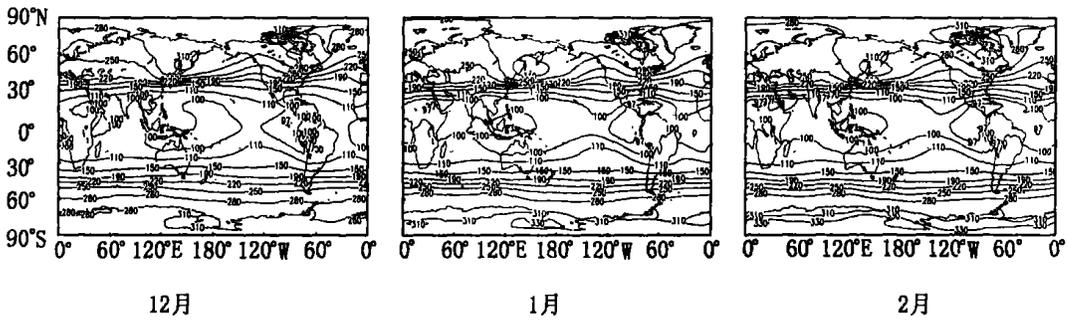


图 13 全球 1948~ 2004 年间 12~ 2 月对流层顶的月平均气压场分布 (单位: hPa)

Fig. 13 Global tropopause monthly mean pressure in December, January and February from 1948 to 2004(unit: hPa)

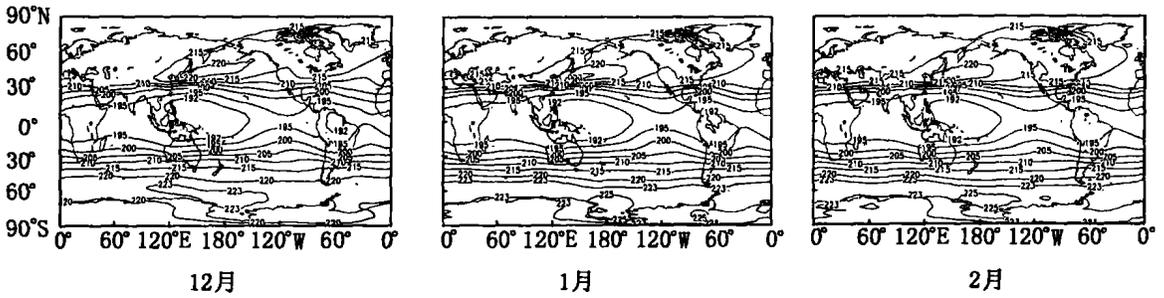


图 14 全球 1948~ 2004 年间 12~ 2 月对流层顶的月平均温度场分布 (单位: K)

Fig. 14 Global tropopause monthly mean temperature in December, January and February from 1948 to 2004(unit: K)

4 对流层顶温压场的季节变率

图 15, 16 是对流层顶温压场纬向距平的季节变率。对其比较可以看到, 从纬向上可划分为 5 个不同的时空尺度区域, 即 60°N 以北的极地区域、30°~ 60°N 的副热带及中高纬区域、30°N~ 30°S 的副热带及热带区域、30°~ 60°S 的副热带及中高纬区域和 60°S 以南的极地区域。尽管在不同的纬向空间上都显现出准半年的周期, 但在时间波动上存在着显著的位相差异, 由于纬向时间波动位相的差异导致了经向空间波动也存在着差异。

可注意到, 30°~ 60°N 的副热带及中高纬区域和 60°S 以南的南极地区, 温压场之间都具有同位相的演变特征, 且与 30°N~ 30°S 的副热带及热带区域和 30°~ 60°S 之间的副热带及中高纬区域有明显的反位相关系, 这就构成了气压场和温度场的经向型遥相关结构(即跷跷板结构)。在 60°N 以北的地区温压场之间的变化不同于其他区域, 其位相是非同步的, 气压场有超前于温度场的变化趋势。温压场的最大季节变程均发生在 60°S 以南, 气压变程的负距平大于 -100 hPa, 正距平大于 80 hPa,

温度变程的正距平大于 12 K, 负距平大于 -15 K。在 30°N~ 30°S 的赤道附近气压场和温度场具有最小季节变程, 距平变率分别为 ±20 hPa 和 ±3 K。

图 17 是两半球 150 hPa 等气压线及对应温度的季节变化, 冬半年对流层顶断裂区的地理位置较夏半年稳定, 夏半年是断裂区活动变化活跃的季节。南半球 150 hPa 等气压线的空间变程范围在 29°~ 39°S 之间, 2 月位于最南的 39°S 附近, 8 月最北在 29°S 附近, 对应温度的季节变化与等气压线的趋势完全不同, 存在着明显的季节双峰波动结构, 温度极小值出现在 4 月和 12 月, 其温度值约为 210.6 K, 2 个温度极大值在 2 月和 9 月, 分别为 211.6 K 和 212.2 K。两半球 150 hPa 等气压线的季节空间波动趋势是一致的, 8 月出现在最北端, 2 月存在于最南端。北半球 150 hPa 等气压线在 30°~ 42°N 的范围内波动, 2~ 3 月在 30°N 以南, 8 月最北位于 42°N 附近。对应的温度季节变化与南半球的变化趋势基本相一致, 也有季节波动的双峰结构特征, 但不如南半球显著, 最低温度为 208.6 K 出现在 12 月, 3 月有不明显的温度峰值 209.2 K, 最高温度峰值出现在 9 月, 为 212.6 K。

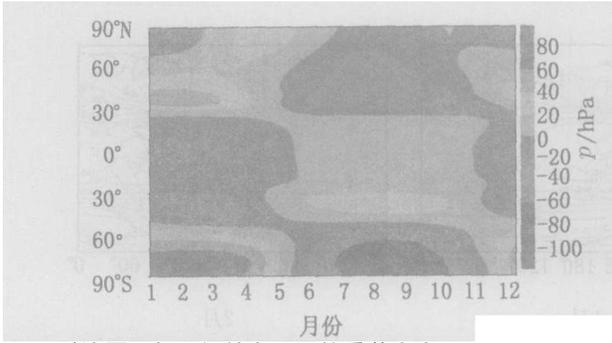


图 15 对流层顶气压场纬向距平的季节变率
Fig. 15 The seasonal variation of the global tropopause zonal mean pressure anomalies

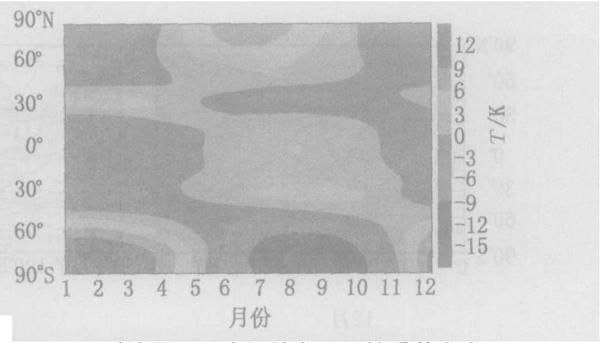


图 16 对流层顶温度场纬向距平的季节变率
Fig. 16 The seasonal variation of the global tropopause zonal mean temperature anomalies

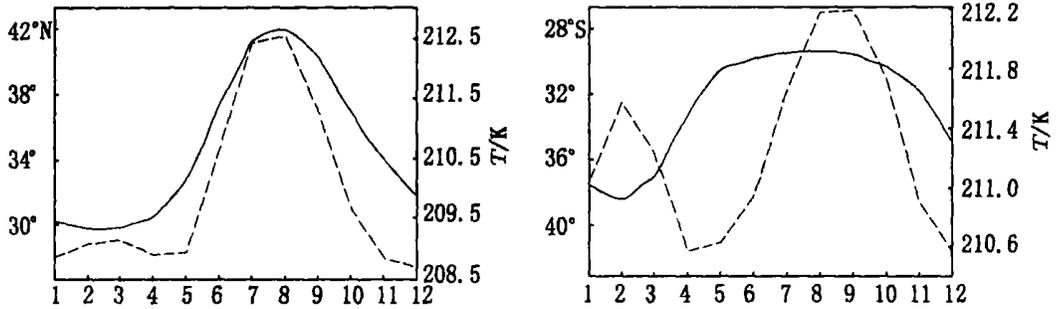


图 17 对流层顶 150 hPa 等气压线(实线)及对应温度(虚线)在(a)北半球和(b)南半球的季节变化
Fig. 17 The seasonal variations of the tropopause 150 hPa isopiestic(solid line) and corresponding temperature(dashed line) in (a) the Northern Hemisphere and (b) the Southern Hemisphere

5 结 语

(1) 对流层顶平均态的空间位置分布可划分为 3 个区域, $30^{\circ}\text{N} \sim 30^{\circ}\text{S}$ 之间为热带对流层顶区, 30°N 以北和 30°S 以南均为极地对流层顶区. 对流层顶平均位置与对流层顶的热状况大致吻合. 温度场与气压场的空间分布相类似, 气压场和温度场均从赤道向两极递增, 但在南半球中纬度地区存在纬向型的高温中心, 而北半球气压场、温压场的槽脊具有明显的海陆对应结构. 南北两半球对流层顶的气压场、温压场存在着显著的非对称性, 副热带地区是等压线和等温线经向梯度最大的对流层顶的断裂区域;

(2) 对流层顶纬向温压距平场时空分布具有显著的年际和年代际变化. 两极地区对流层顶的气压和温度最不稳定, 且随时间演变的尺度较小. 两半球中纬度地区的时间演变尺度存在显著差异, 且它们具有明显的反位相关系. 赤道附近温度场的时间演变尺度大于气压场的演变尺度. 两半球 150

hPa 等气压线及其对应温度的年际变化趋势是一致的, 但温度波动与等气压线的空间波动存在反位向关系, 20 世纪 70 年代末出现温度升高的突变现象, 此时等气压线迅速向南部空间移动, 这一现象在南半球尤为显著. 两半球 150 hPa 等气压线均有向南传播的结构特征, 即对流层顶断裂带温度的升高将伴随着断裂带的南移;

(3) 不同季节对流层顶的温压场将进行时空调整. 北半球 3~5 月极地对流层顶的等压线由非纬向型趋向于纬向型, 南半球则相反, 副热带大陆上的经向气压梯度大于海洋. 全球温度场变化不如气压场显著, 似乎温度场变化滞后于气压场. 6~8 月北半球极地对流层顶的纬向型分布得到加强, 热带对流层顶出现较强的纬向空间波动. 南半球热带对流层顶呈明显的纬向型分布, 副热带地区的经向气压梯度较强, 出现中纬度地区极地对流层顶气压高于极区极地对流层顶气压的特殊现象. 两半球对流层顶的温度场分布较为均匀, 经向梯度较小. 温压场在 9~11 月均有明显的调整, 其趋势与 3~5

月相反. 北半球极地对流层顶的变化趋势最显著, 副热带及中高纬地区海洋上空的气压槽东移. 同样, 北半球的变化比南半球明显, 且热带对流层顶的变化不如极地对流层顶. 温度场的变化比气压场的迅速, 似乎温度场的变化有超前于气压场的趋势. 12~2 月北半球对流层顶气压场的空间波动范围比南半球大, 其纬向分布遭到破坏. 在鄂霍次克海和巴芬岛有高压闭合区. 北半球等温线的空间变程较复杂, 气压场与温度场之间的协调性表现明显, 高温区与高压区的对流层顶相吻合, 低压区与低温区的对流层顶相对应.

(4) 对流层顶温压场的纬向距平变率具有明显的季节变化特征, 从纬向上可划分为 5 个时空波动及位相不同的区域, 构成了气压场和温度场的经向型的相关结构. 北极地区温压场之间的变化不同于其他区域, 气压场的变化有超前于温度场的趋势. 温压场的最大季节变程均发生在南极地区. 南半球纬向平均 150 hPa 等气压线的空间波动范围在 $29^{\circ}\sim 39^{\circ}\text{S}$ 之间, 对应的温度季节变化与等气压线的季节变化趋势完全不同, 存在着明显的双峰波动结构. 北半球 150 hPa 等气压线在 $30^{\circ}\sim 42^{\circ}\text{N}$ 的空间范围内波动, 对应的温度季节变化也有双峰波动结构的趋势, 但不如南半球显著. 两半球在冬半年对流层顶断裂区的地理位置较夏半年稳定, 夏半年是断裂区变化活跃的季节.

参考文献:

[1] MAXOBEP 3 M. 对流层顶气候学(1983)[M]. 张贵

银, 廖寿发, 译. 北京: 气象出版社, 1988.

- [2] 王卫国, 秦芳. 臭氧层季节变化与对流层顶的关系[J]. 云南大学学报: 自然科学版, 1994, 16(增刊 1): 29-34.
- [3] 王卫国, 郭世昌, 杨利群. 大气臭氧垂直分布及其变化的研究[J]. 地球物理学报, 1990, 33(6): 639-646.
- [4] 李国辉, 吕达仁. 对流层顶变化对上对流层/下平流层臭氧分布的影响[J]. 空间科学学报, 2003, 23(4): 269-277.
- [5] 葛玲, 梁佳兴, 陈毅良. 南极对流层-平流层下部气候变化特征及其原因[J]. 南京气象学院学报, 1997, 20(1): 47-53.
- [6] 丛春华, 李维亮, 周秀骥. 青藏高原及其邻近地区上空平流层-对流层之间大气的质量交换[J]. 科学通报, 2001, 46(22): 1914-1918.
- [7] 王卫国, 罗燕, 陈鲁言, 等. 中国西南上空大气臭氧垂直分布的结构特征[J]. 云南大学学报: 自然科学版, 2004, 26(4): 315-319.
- [8] 王卫国, 吴润, 刘红年, 等. 中国及邻近地区污染排放对对流层臭氧变化与辐射影响的研究[J]. 大气科学, 2005, 29(5): 734-746.
- [9] 苏绍基, 王卫国. 大气臭氧层变化与南亚高压活动关系的探讨分析[J]. 云南大学学报: 自然科学版, 2000, 22(4): 293-296.
- [10] World Meteorological Organization. WMO Manual on codes International codes Volume 1. 2 [EB/OL]. [2005-08-14]. http://www.wmo.int/web/www/DPS/NewCodes/Tables/WMO306_vol-1-2PartB.pdf.

The structure characteristic of spatial-temporal variation of the global tropopause pressure and temperature

WANG Wei-guo¹, FAN Wen-xuan¹, WU Jian¹, SUN Ji-hua², YUAN Min¹, YANG Qian¹, WANG Hao-yue¹

(1. Department of Atmosphere Science, Yunnan University, Kunming 650091, China;

2. Yunnan Research Institute of Meteorology, Kunming 650034, China)

Abstract: The space structure, interannual and seasonal variation of the global mean pressure and temperature were analyzed using the 57 years (1948—2004) data sets of pressure and temperature at tropopause. The results are as follows: ① The mean spatial position of the tropical tropopause and the polar tropopause approximately consistent with heating fields of the tropopause, and isopiestic, isotherm present zonality and appear wave motion at the middle and high latitude. The tropopause temperature and pressure are not symmetrical

(下转第 177 页)

Preliminary study on the optimization of seed culture medium for cycloheximide-producing strain YIM41004

CHEN Yǐguang^{1,2}, LIU Zhǎxiang^{1,2}, LI Mínggāng¹,

WEN Mēngliáng¹, GUO Duānqiáng¹, XU Lǐhuá¹

(1. Key Laboratory for Microbial Resources of Ministry of Education,

Yunnan Institute of Microbiology, Yunnan University, Kunming 650091, China;

2. College of Biological Resource & Environment Science, Jishou University, Jishou 416000, China)

Abstract: The composition of seed culture medium and the culture conditions for cycloheximide-producing new strain *Streptomyces yunnanensis* YIM41004 were optimized. The optimum composition was as following: glucose 25 g, peptone 7.5 g, yeast extract 7.5 g, CaCO₃ 3 g, MgSO₄•7H₂O 1 g, MnSO₄•4H₂O 0.1 g, KH₂PO₄ 0.2 g, distilled water 1 000 mL. The optimal pH value was 7.8, the broth volume in 500 mL flask was 100 mL, and the optimal seed age was 32—36 h. Inoculated with 10% (V/V) seed broth and cultured with the optimized seed culture medium, the cycloheximide production level of flask fermentation reached up to 498.9 mg•L⁻¹, which was 10.7% higher than that cultured with the original seed broth culture.

Key words: *Streptomyces yunnanensis* YIM41004; cycloheximide; seed culture medium; optimization

* * * * *

(上接第 135 页)

between two hemispheres. ②The interannual (interdecadal) variations of the tropopause zonal-mean pressure and temperature anomalies are remarkable. The tropopause temperature are the most instable both in two polar regions, the time-scale of evolution have obvious differences between middle latitudes in the two hemispheres. The spatial-temporal wave motions phases of the tropopause breakpoints and corresponding temperature are contrary, and the temperature presents catastrophe in the end of 1970s, tropopause breakpoints rapidly translated to south. ③The spatial structures of the tropopause temperature and pressure will change in different seasons. The seasonal variations of tropopause pressure and temperature are almost consistent, but the variation in the Northern Hemisphere is more complicated. ④The variability of the tropopause pressure and temperature anomalies has obvious seasonality, they can be divided into five zonal regions with different space-time wave motions, and five regions form meridional correlation structure of pressure and temperature. The variation of temperature and pressure in North Pole are different with others regions, the variation of pressure is prior to that of temperature, and the seasonal variation of temperature at the tropopause breakpoints present notable double-peaks structure, the largest seasonal variation happens in the South Pole.

Key words: tropopause; pressure; temperature; interannual (interdecadal) variation; seasonal variation; space-time structure characteristic