

青藏高原东北侧地区干湿年 夏季环流异常的对比分析*

俞亚勋

王宝灵

谢金南

董安祥

(兰州干旱气象研究所, 兰州 730020)

(甘肃省气象局, 兰州 730020)

摘要 使用 NCEP/NCAR 1968~1997 年 6~8 月平均再分析全球网格点资料以及同期青藏高原东北侧 17 站夏季总降水量观测资料, 对青藏高原东北侧典型干湿年夏季平均的大尺度环流场和物理量场差异进行了对比分析, 探讨了青藏高原东北侧夏季干湿年形成的原因和机制。结果表明, 青藏高原东北侧区域干湿年夏季对应的大尺度环流场和有关物理量场差异明显, 最后给出了青藏高原东北侧夏季干湿年的物理图像, 为短期气候预测提供依据。

关键词: 青藏高原; 夏季; 干湿年; 环流; 对比分析

1 引言

中国是世界上多干旱灾害的国家之一, 干旱、半干旱地区约占国土面积的二分之一, 而西北干旱、半干旱区所占比例约为西北地区总面积的 88%。世界上的主要干旱区, 一般都位于南北半球的副热带纬度上, 而青藏高原东北侧和北侧是北半球同纬度最干旱的地区。因此, 该地区在全球干旱气候研究中有着特殊的地位。观测统计^[1]表明, 在青藏高原东北侧, 自内蒙古西部经河套平原向南到甘肃中部, 夏季有一自北向南延伸的平均降雨量干舌区域。该区域是东亚季风、高原季风和西风带交汇区, 也是荒漠、草原和农业区的过渡地带, 属生态脆弱地区。它不同于西北中西部地区, 有得天独厚的祁连山和天山等形成的内陆河灌溉, 成为沙漠绿洲式的气候, 该区域作物生长完全依靠自然降水, 是西北地区受干旱灾害影响最严重的区域。过去已有一些对这一区域的旱涝和预报问题的研究^[1~5], 但大多数仅强调某一高度层(如 500 hPa)的作用, 或仅讨论某物理因子或气象要素场的多年平均特征, 而针对典型干湿年间各物理量场差异的对比分析较少, 而且由于所用高度场资料网格点过粗, 研究还不够充分。本文将使用较新的可靠资料, 着重分析青藏高原东北侧夏季典型干湿年对流层内不同高度有关物理量场, 特别是经纬向垂直环流场的差异, 以期探讨青藏高原东北侧夏季干旱发生的异常环流机制, 为短期气候预测提供依据。

1998-11-01 收到, 2000-08-28 收到再改稿

* “九五”国家重中之重项目“我国短期气候预测系统的研究”96-908-05-03和甘肃省气象局98-04项目资助

2 资料来源及方法

本文所用的高空资料取自 NCEP/NCAR 1968~1997 年 17 层全球再分析网格点 ($2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 经纬度) 资料, 包括高度场、风场和垂直速度场月平均资料。根据文献[6]对西北地区降水量进行气候分区的结果, 对青藏高原东北侧具有代表性的 17 个站点 1958~1997 年 40 年 6~8 月降水总量资料进行了区域平均, 选取 1968~1997 年期间夏季最干旱的 1982、1974、1991 年和最多雨的 1979、1978、1984 年作为分析对象。3 个干旱年的区域平均降水距平百分率分别是 -41%、-36%、-34%, 3 个多雨年的区域平均降水距平百分率分别是 36%、27%、23%。对挑选的典型干湿年夏季 (6~8 月) 平均高低空位势高度场、风矢场、 ω 场、涡度场和散度场以及经纬向垂直环流圈进行诊断, 对比分析其差异。以下分析讨论中涉及到的距平场均为干湿年夏季平均减多年 (1968~1997 年) 夏季平均的结果。

3 干旱年与多雨年大尺度环流场

3.1 高度场

从干湿年夏季与多年平均位势高度距平场 (图 1) 看, 干旱年 500 hPa 在中高纬中亚至东亚范围, 巴尔喀什湖以西至里海上空为负距平, 中心强度达 -12 gpm, 贝加尔湖东南侧蒙古高原为正距平, 中心强度达 18 gpm, 朝鲜半岛至日本海有一个负距平中心, 强度达 -12 gpm。200 hPa 自西向东有一个明显的—+—距平分布, 且正负中心更强, 位置与 500 hPa 完全重合, 另外一个明显特征是欧亚范围中纬度 $30^{\circ} \sim 40^{\circ} \text{N}$ 之间对流层中下层位势高度普遍以负距平为主。这表明青藏高原东北侧区域干旱年副热带高压比常年偏弱。而多雨年则相反, 500 hPa 巴尔喀什湖西侧至里海上空为正距平, 中心强

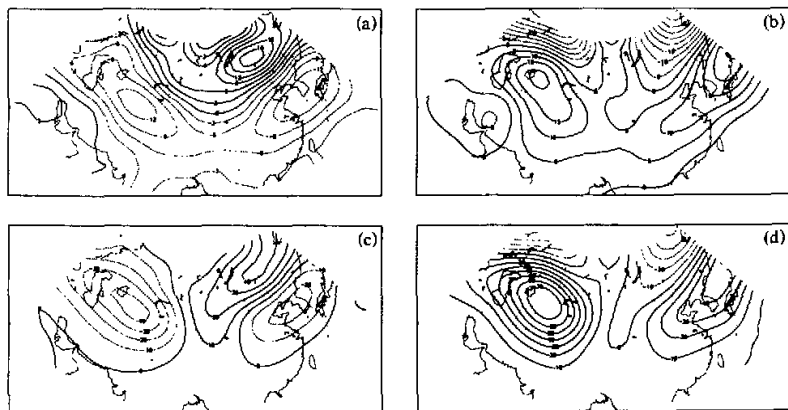


图 1 干湿年夏季与多年平均位势高度距平场 (单位: gpm)

(a) 干旱年 500 hPa; (b) 多雨年 500 hPa; (c) 干旱年 200 hPa; (d) 多雨年 200 hPa

度达 20 gpm, 贝加尔湖以东为负距平, 日本海上空为正距平, 中心强度达 25 gpm。同样, 200 hPa 自西向东—+距平分布更为明显, 正负中心更强, 位置与 500 hPa 完全重合, 欧亚范围中纬度 30~40°N 之间对流层中下层位势高度普遍以正距平为主。这表明青藏高原东北侧区域多雨年副热带高压是比常年偏强的。文献[7]指出: 西北东部 500 hPa 高度距平场在旱年表现为“西正东负”, 即新疆为正距平, 日本海为负距平; 而多雨年为“东正西负”, 与我们的结果是一致的。这表明图 1 所示的典型旱涝年环流形势对于青藏高原东北侧区域具有代表性。

3.2 风矢量场

从干湿年夏季与多年平均风矢量距平场(图 2)上看, 干旱年在对流层 500 hPa 层, 贝加尔湖东南侧蒙古上空差值反气旋环流加强, 巴尔喀什湖西侧以及日本海上空差值气旋环流加强, 伊朗高原上空差值反气旋环流加强, 西太平洋上空的差值反气旋环流加强; 多雨年正好相反, 贝加尔湖以东有一范围十分宽广深厚的差值气旋式环流, 一直延伸到白令海, 巴尔喀什湖西侧以及日本海以东洋面上空差值反气旋环流加强, 伊朗高原上空差值气旋环流加强, 西太平洋上空的差值气旋环流加强。尤其值得注意的是, 在青藏高原东北侧 100~110°E 区域旱年北风分量加强, 多雨年南风分量加强。这种分布特征在 200 hPa 层上反映得更为清楚。这一事实与前述位势高度场距平分布形势相符合, 即正距平区域对应差值反气旋环流, 负距平区域对应差值气旋环流, 而旱年东亚北风强与 500 hPa 位势高度场距平分布为“西正东负”是一致的。张广周等^[8]统计了青藏高原东北侧单站 500、700、850 hPa 层相对湿度, 发现全球变暖影响西北地区东部干旱气候主要表现为夏季偏南风减弱, 偏北风增强, 夏季有变干趋势。本文的分析证实了该区域上空偏北风增强是旱年流型的重要特征之一。

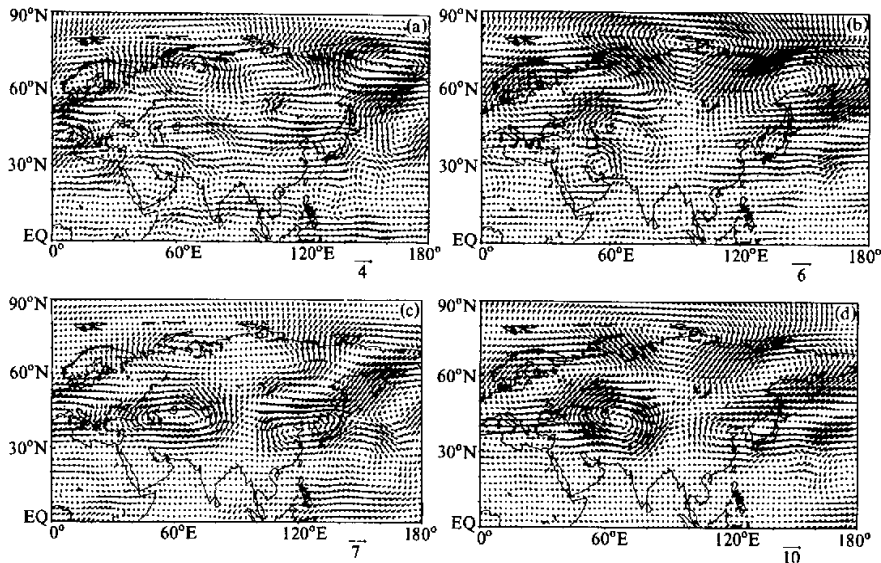


图2 干湿年夏季与多年平均风矢量距平场

(a) 干旱年 500 hPa; (b) 多雨年 500 hPa; (c) 干旱年 200 hPa; (d) 多雨年 200 hPa

4 干旱年与多雨年物理量场特征

4.1 ω 场

为了明显起见, 我们制作了青藏高原东北侧区域 ($32.5^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$, $100^{\circ}\sim 110^{\circ}\text{E}$) 干湿年夏季平均 ω 垂直分布曲线 (图3)。从图3可看到, 干旱年与多雨年夏季平均 ω 的

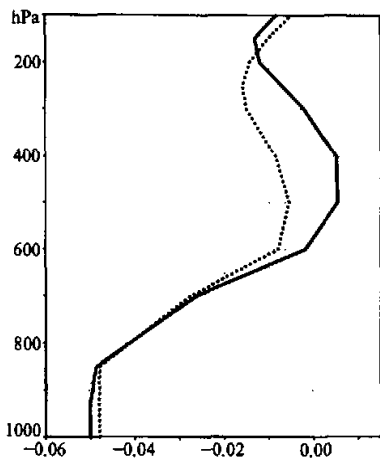


图3 青藏高原东北侧区域干湿年夏季平均 ω 垂直分布曲线(单位: hPa/s)
实线: 干旱年; 点线: 多雨年

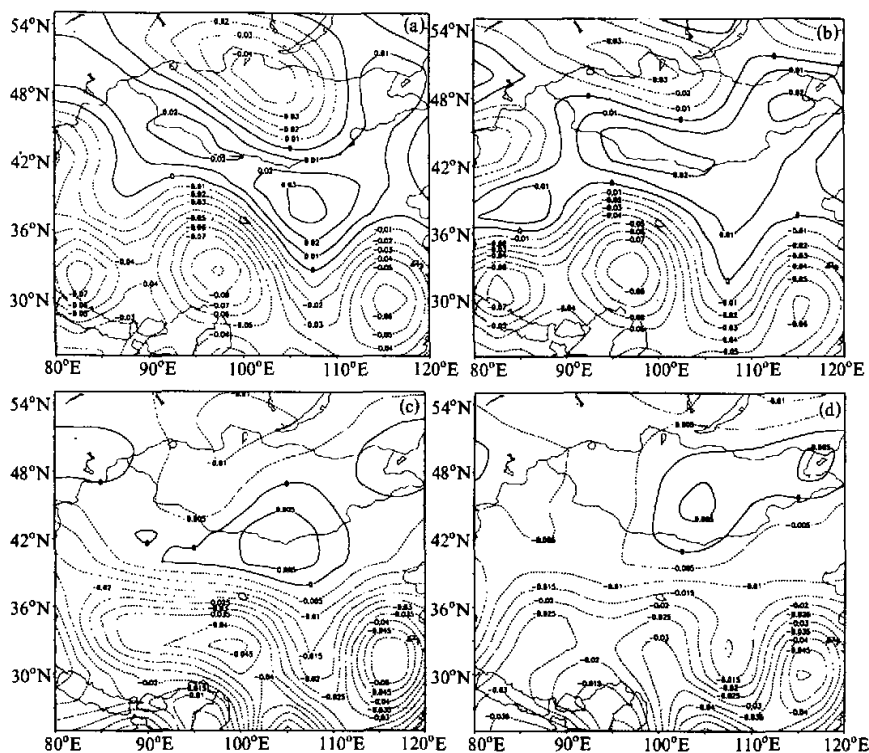
垂直分布曲线均呈 S 形分布, 即在对流层中下层随高度增加, 垂直上升速度由强减弱, 在对流层上层随高度增加, 垂直上升速度由弱变强, 再往上又由强减弱。除在低层垂直上升速度最大, 接近 -0.05 hPa/s 外, 干旱年垂直上升速度在 150 hPa 附近出现极大值, 而多雨年在 250 hPa 附近出现极大值。垂直上升速度在对流层低层大于上层, 并且多雨年大于干旱年, 这与中低层盛行低云活动有关。值得注意的是, 干旱年 ω 的垂直分布曲线在 $600\sim 300 \text{ hPa}$ 之间表现为正值, 而多雨年整层大气始终表现为负值, 这表明干旱年青藏高原东北侧区域对流层中层盛行下沉运动, 而多雨年整层大气始终表现为上升运动。

下面我们分别选取 500 hPa 和 200 hPa 层进一步说明 ω 的水平分布情况。图4为

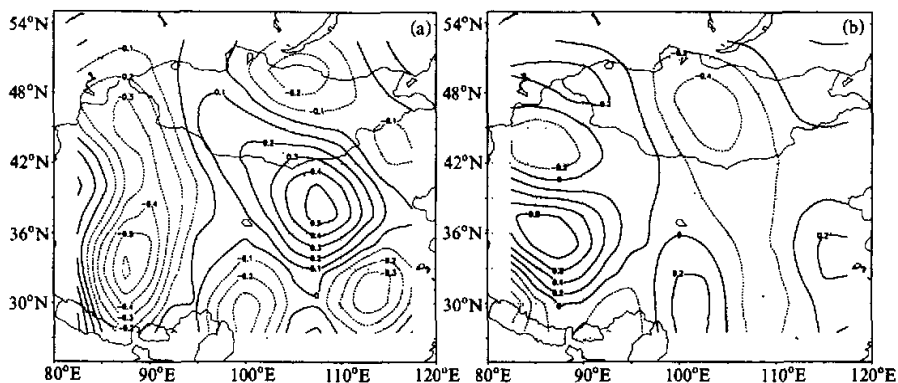
干湿年夏季平均 ω 场。在 500 hPa 层, 干旱年自中亚地区沿巴尔喀什湖北侧经阿尔泰山脉至青藏高原东北侧区域有一条明显的 ω 正值带, 盛行下沉气流, 其中最大中心位于青藏高原东北侧区域, 达 0.03 hPa/s 。而东亚其他大部分地区 ω 均为负值, 一致为上升气流, 上升运动中心分别位于青藏高原西部和东部以及长江中下游地区。多雨年情形有所不同, 下沉气流带自西亚沿塔里木盆地向东北方向延伸至蒙古, 干旱年位于青藏高原东北侧区域的下沉气流中心消失, 强度减弱, 而其他上升运动中心位置基本不变。在 200 hPa 层, 干旱年的 ω 正值带比多雨年明显偏强偏南。

4.2 散度场

我们还计算了典型干湿年夏季平均散度距平场 (图5)。在干旱年 700 hPa (图略), 自新疆北部沿河西走廊至青藏高原东北侧区域有一条明显的散度正距平带, 中心分别位于新疆北部和青藏高原东北侧区域, 强度达 $0.6 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$; 在青藏高原主体是一个明显的负距平区, 强度达 $-1.8 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ 。 500 hPa 层, 青藏高原东北侧区域仍为一片正距平区; 除青藏高原主体上空外, 中国西南和江淮流域也分别出现负距平中心, 强度达到 $-0.3 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ 。在 200 hPa 层 (图略), 新疆西南部至青藏高原东部以及黄淮流域各有一个正距平中心, 中国其他大部分区域均为负距平区, 而最大负距平中心位于青藏高原东

图 4 干湿季夏季平均 ω 场(单位: hPa/s)

(a) 干旱年 500 hPa; (b) 多雨年 500 hPa; (c) 干旱年 200 hPa; (d) 多雨年 200 hPa

图 5 干湿季夏季与多年平均散度距平场(单位: $\times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$)

(a) 干旱年 500 hPa; (b) 多雨年 500 hPa

北侧至内蒙古一带, 这表明干旱年青藏高原东北侧对流层中低层辐散加强, 对流层上层辐合加强, 而环绕其周围的广大区域对流层中低层辐合加强, 对流层上层辐散加强, 这

样就形成了干旱年夏季青藏高原东北侧区域整层大气盛行下沉气流。多雨年上下各层辐合辐散距平中心与干旱年恰好相反, 青藏高原东北侧对流层中低层均呈现负距平, 辐合加强, 围绕其四周是正距平, 辐散加强。到 200 hPa 层(图略), 北疆至青藏高原东北侧以及云贵高原为正距平中心所在地, 辐散加强。以上结果非常清楚地展现了干旱年青藏高原东北侧对流层中低层辐散下沉气流加强, 对流层上层相应辐合下沉气流加强, 这种整个对流层均一致呈现下沉运动增强的形势显然不利于产生降水, 易形成干旱。多雨年青藏高原东北侧对流层中低层辐合上升气流加强, 高层相应辐散气流加强, 这种整个对流层均一致呈现上升运动增强的形势有利于产生降水。

4.3 涡度场

为从动力角度分析, 计算了上下各层平均涡度场。图 6 给出干湿年夏季平均涡度距平场。干旱年对流层中低层在中国新疆北部和青藏高原东北侧以及东北北部为负涡度距平区, 而青藏高原及其向东至江淮流域以及华北为一片正涡度距平区, 最大涡度中心在高原西部和朝鲜半岛上空, 达 $4 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ 。到 200 hPa(图略), 负涡度距平区位于中国西北部地区以及青藏高原和华南地区, 而青藏高原西部以及长江以北至华北地区是两个很强的正涡度距平区。多雨年对流层中低层中国新疆北部和青藏高原东北侧以及东北大部为正涡度距平区, 而青藏高原以及西南和江淮流域为一片负涡度距平区。200 hPa 层(图略), 中国西北大部分地区包括青藏高原主体区域为一片正涡度距平区, 华南沿海区域也是正涡度距平区, 青藏高原西部和长江以北至华北地区为负涡度距平区。以上高低空涡度距平分布表明, 干旱年中国西北大部分地区包括青藏高原东北侧区域多为负涡度平流, 受高压带控制, 不利于降水形成; 多雨年多为正涡度平流, 盛行低压环流, 有利于降水形成。

值得一提的是, 吴统文等^[9]针对青藏高原北侧的干旱带对比分析了干湿年间夏季平均涡度场的差异, 认为在青藏高原西侧和北侧地区常年均维持一个定常的负涡度带, 只是干旱的平均反气旋涡度更强, 正常年次之, 湿年更弱。而我们以上针对青藏高原东北侧区域典型干湿年的分析表明, 干旱该区域上空维持反气旋涡度, 多雨年则为气旋涡

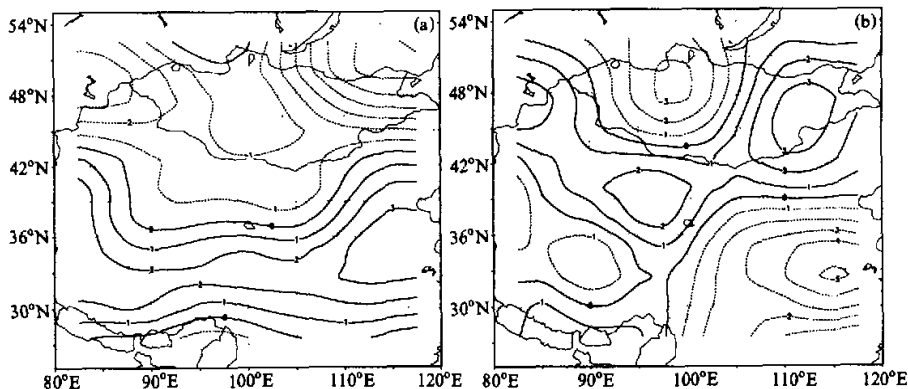


图 6 干湿年夏季与多年平均涡度距平场(单位: $\times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$)

(a) 干旱年 500 hPa; (b) 多雨年 500 hPa

度, 截然不同。这也说明甘肃河西和南疆盆地的干旱本质与青藏高原东北侧不同, 前者主要受青藏高原影响, 表现为盛行下沉气流背景下的相对多(少)雨, 而后者除受青藏高原东移天气系统影响外, 还受东亚夏季风和副热带高压强弱的影响, 表现为上升(下沉)气流背景下的相对多(少)雨。这表明文献[6]中将河西地区与青藏高原东北侧分为 2 个区是合理的, 与中国夏季风的西缘在河西中部的结论^[2]一致。

5 干旱年与多雨年大尺度垂直环流场

从干湿季夏季平均垂直经圈环流(图 7)可看到, 对于干旱年, 在 105°E 经圈剖面上 $35^{\circ}\sim 43^{\circ}\text{N}$ 之间有一个下沉气流带, 最大下沉中心位于 $600\sim 300\text{ hPa}$ 层之间, 达 0.025 hPa/s 。该下沉气流带南北两侧均为上升气流带, 其中尤以南侧的云贵高原上空的上升运动最为强盛, 中心上升气流高度达到 100 hPa 以上。另外, 在北半球对流层中高层 45°N 以南偏北风增强, 尤其在 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$ 之间最大。多雨年下沉气流带强度减弱, 最大下沉中心北移至 42°N , 青藏高原东北侧出现了上升运动区。

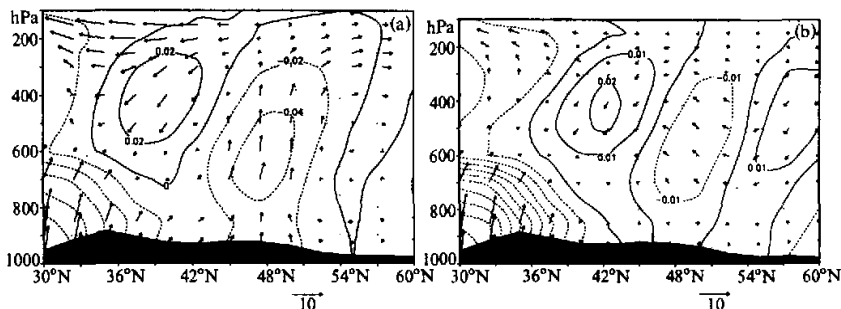


图 7 干湿季夏季平均沿 105°E 垂直经圈环流剖面图

风矢量由 v 和 ω 合成, 虚线为上升运动等值线, 实线为下沉运动等值线, ω 单位: hPa/s

(a) 干旱年; (b) 多雨年

图 8 为干湿季夏季平均垂直纬圈环流剖面图。可以看到, 干旱年沿 37.5°N 纬圈上在 $102^{\circ}\sim 112^{\circ}\text{E}$ 之间有一个下沉运动区域, 0.01 hPa/s 等值线的垂直范围可达到 300 hPa 以上, 其西侧的青藏高原上空为强盛的上升气流区域。多雨年下沉运动区域减弱东移至 $106^{\circ}\sim 110^{\circ}\text{E}$ 之间, 范围明显缩小, 0.01 hPa/s 等值线中心位于 500 hPa 附近, 其西侧上升运动区域范围向东扩展。总的来说, 青藏高原东北侧区域上空干旱年在整个对流层维持强盛的下沉气流, 而多雨年下沉气流区强度减弱, 范围缩小并向东北方向偏移, 意味着青藏高原东北侧区域上空上升运动加强, 有利于降水形成。

6 干旱年与多雨年的环流结构物理图像

为了进一步说明大尺度环流背景和各诊断物理量与青藏高原东北侧区域干旱气候变化相关联的事实, 我们勾画出干湿季的物理图像(图 9): 在北半球中高纬对流层中上

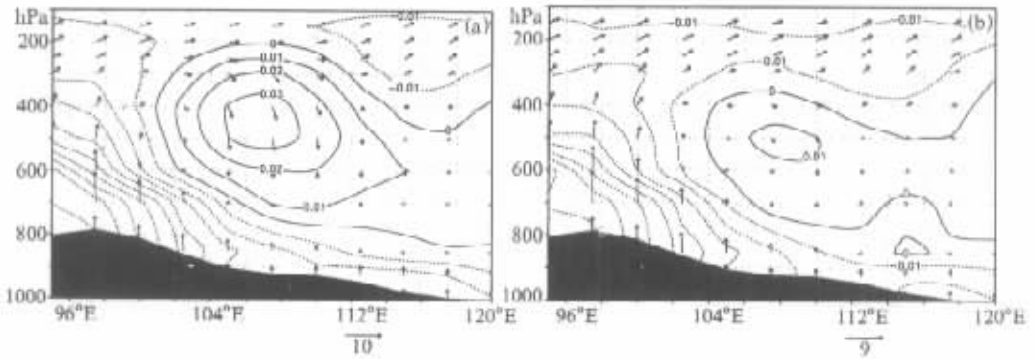


图8 干湿年夏季平均沿 107.5°N 垂直纬圈环流剖面图

风矢量由 u 和 w 合成, 虚线为上升运动等值线, 实线为下沉运动等值线, ω 单位: hPa/s

(a) 干旱年; (b) 多雨年

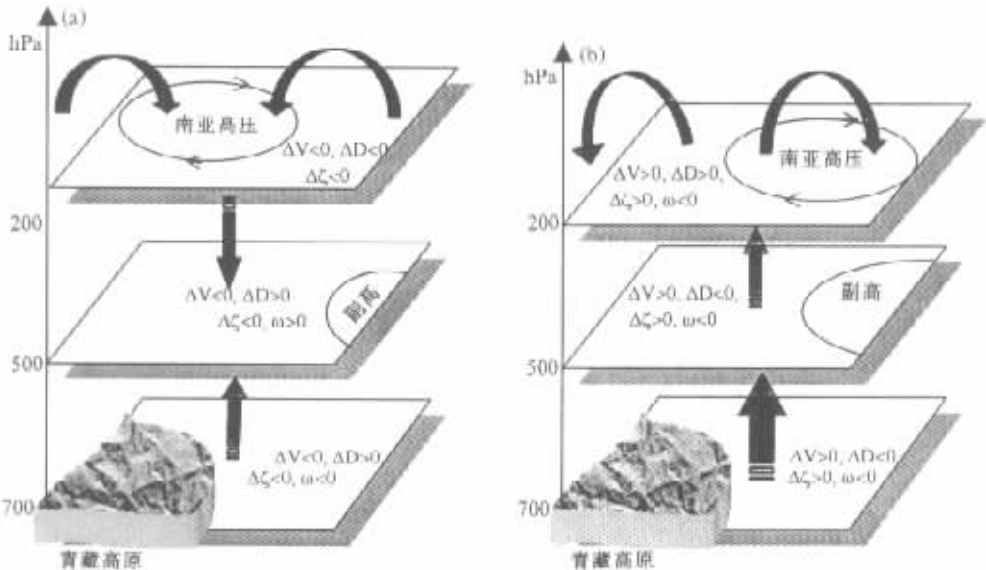


图9 青藏高原东北侧地区干湿年的物理图像

(a) 干旱年; (b) 多雨年

层东亚范围高度距平场呈现—+—距平的大尺度环流背景下, 青藏高原东北侧区域上空北风增强, 下沉运动增强, 相应地多负涡度平流, 盛行高压系统, 对应上层辐合, 中下层辐散, 与青藏高原东北侧地区相邻的四周区域上升运动增强, 特别是位于其西侧的青藏高原和位于其南侧的云贵高原上空的上升运动有明显加强。这种形势不利于产生降水, 青藏高原东北侧区域易形成干旱。反之, 在北半球中高纬对流层中上层东亚范围高度距平场呈现+—+距平的大尺度环流背景下, 青藏高原东北侧区域上空南风增强, 整层大气上升运动增强, 相应地多正涡度平流, 盛行低压系统, 对应中下层辐合, 上层辐散, 与青藏高原东北侧地区相邻的四周区域上升运动减弱, 特别是位于其西侧的青藏高原和位

于其南侧的云贵高原上空的上升运动有明显减弱。这种形势有利于产生降水, 青藏高原东北侧区域不易形成干旱。

7 结论

根据对青藏高原东北侧区域典型干湿年夏季平均上下各层环流场特征差异的对比分析, 指出欧亚大陆范围内, 大尺度环流场和有关物理量场在干旱年和多雨年均表现出明显不同的异常特征。

(1) 环流场的水平分布干湿年差异十分明显: 干旱(多雨)年位势高度场在欧亚区域范围内中高纬自西向东呈现—(++)的距平波列。风矢量场上自西向东相应为气旋、反气旋、气旋(反气旋、气旋、反气旋)分布, 西太平洋上空的反气旋(气旋)环流加强, 副热带高压减弱(加强)。青藏高原东北侧 $100\sim 110^{\circ}\text{E}$ 区域上空北风(南风)分量加强。

(2) 物理量场的对比分析表明: 平均而言, 青藏高原东北侧区域垂直上升速度在对流层下层大于上层, 干旱年夏季对流层中层盛行下沉运动, 而多雨年夏季整层大气始终表现为上升运动, 且下沉运动区域干旱年比多雨年明显偏强偏南。青藏高原东北侧区域干旱(多雨)年表现为上(下)层辐合下(上)层辐散, 多负(正)涡度高(低)压环流。

(3) 垂直环流场特征差异也十分明显: 青藏高原东北侧区域上空干旱年在对流层维持强盛的下沉气流, 该下沉气流与来自西面青藏高原和南面云贵高原上空强盛的上升气流形成一个闭合的环流圈, 而多雨年该下沉气流区强度减弱, 范围缩小, 并向东北方向偏移, 青藏高原东北侧区域上空上升运动加强。另外, 干旱年在北半球对流层中高层 45°N 以南偏北风增强, 尤其在 $30\sim 40^{\circ}\text{N}$ 之间最大。

致谢 中国科学院大气物理研究所吴国雄院士对本项研究工作给予了热情鼓励和悉心指导, 在此表示感谢!

参 考 文 献

- 1 白肇烨等, 中国西北天气, 北京: 气象出版社, 1988.
- 2 高由禧等, 东亚季风的若干问题, 北京: 气象出版社, 1962, 49~63.
- 3 林春育、陆菊中, 中低纬度环流变异与高原东北侧初夏干旱的探讨, 干旱气象文集, 北京: 气象出版社, 1989, 54~62.
- 4 徐国昌、葛玲、吴敏之, 我国西北陕、甘、宁、青地区的自然天气季节, 地理学报, 1963, 29, 281~291.
- 5 徐国昌, 青藏高原东北侧干旱的天气气候特征, 长期天气预报文集, 北京: 气象出版社, 1981, 125~133.
- 6 王宝灵、孙国武、张焕儒、翟文, 中国西北地区月降水量的年际变化及分区研究, 中国西北干旱气候研究, 北京: 气象出版社, 1997, 52~58.
- 7 王宝灵、董安祥、王玲, 中国西北夏季降水的 EOF 分析及其与 500 hPa 高度场的关系, 高原气象, 1995, 14(3), 342~347.
- 8 张广周、谢金南、马镜钢, 全球变暖对高原东北侧干旱气候影响的若干事实, 新疆气象, 2000, 23(2), 4~12.
- 9 吴统文、钱正安, 青藏高原东北侧地区干湿年夏季垂直环流差异的对比分析及青藏高原的热力影响, 气象学报, 1996, 54(4), 558~568.

Contrast on the Large Scale Circulation Anomaly over Tibetan Plateau Northeastern Side for Drought and Rainy in Summer

Yu Yaxun and Wang Baoling

(Lanzhou Arid Meteorological Institute, Lanzhou 730020)

Xie Jinnan and Dong Anxiang

(Gansu Meteorological Bureau, Lanzhou 730020)

Abstract The potential height fields, wind vector fields, vorticity fields and the divergence fields at the range of East Asia in summer over the northeastern side of the Tibetan Plateau for the typical drought years (1982, 1974, 1991) and the typical rainy years (1978, 1979, 1984) were analyzed and calculated respectively by using the NCEP / NCAR global reanalysis monthly grid data ($2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$) and the observed monthly precipitation at 17 stations in northeastern side of the Tibetan Plateau for the period 1968 to 1997. The results show that the circulation patterns over the northeastern side of the Tibetan Plateau in drought and rainy years are obviously different. The causes and mechanisms for this drought and rainy are also discussed. Finally, the physical images on the relation of circulation and precipitation anomaly over the northeastern side of the Tibetan Plateau in summer were given out in order to provide basis for short-term climatic forecast.

Key words: Tibetan Plateau; summer; drought and rainy year; circulation; contrast analysis