中蒙强、弱沙尘暴年春季平均环流及沙尘活动变化分析*

宋敏红[1,2] 钱正安[1] 蔡 英[1,2] 柳中明[3]

1 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所西部气候环境与灾害实验室，兰州，730000
2 中国科学院东亚区域气候－环境重点实验室，北京，100029
3 台湾大学大气科学系，台北，106

摘 要

利用 NCEP/NCAR 再分析资料，对比分析了中蒙东、中及西区强、弱沙尘暴年春季(3—5 月)平均环流的特征和差异，讨论了过去 50 年 3 分区沙尘暴活动的变化。主要结论是：(1)根据诱发沙尘暴的诱生系统、沙尘源地、冷空气入侵路径及主要影响，中蒙沙尘暴活动区可以划分为中蒙东区、中区及西区 3 个区系，并分区整体讨论与预测中蒙 3 分区的沙尘活动。(2)中蒙东区沙尘暴强年春季盛行日本海或中国东北低压活动，常随偏东的北路及东北路冷空气入侵，带来蒙古国东部的沙尘，造成蒙古东部及中国华北的沙尘天气；而弱年春季日本海及东北低压活动则少。(3)中蒙中区沙尘暴强年春季盛行蒙古低压，多西北路及偏西的北路冷空气入侵，常造成中蒙南边界西段附近的沙尘暴天气；而沙尘暴弱年春季则相反。(4)中蒙西区沙尘暴强年春季盛行南疆热低压，多西路冷空气入侵，诱发沙尘暴，常影响南疆及柴达木盆地等；弱年春季则相反。(5)近 50 年中蒙地区的沙尘暴活动呈波动变化，荒漠化环境、特别是大气环流的变化是导致上述 3 个分区沙尘活动波动变化的主要原因。主要从大气环流角度考虑，在目前全球增暖持续的背景下，近 1—2 年应注意中、东区(特别是东区)沙尘活动加强的可能性。

关键词：中蒙东区、中区和西区，沙尘暴强、弱年春季，沙尘暴诱生系统，冷空气入侵路径，沙尘活动的变化及趋势。

1 引 言

沙尘暴是强风吹起地面大量沙尘，使地面能见度严重降低(≤1 km)的自然灾害。强沙尘暴不仅造成当地生命和财产的重大损失，而且还会造成当地及下游地区大气、土壤及水体环境的严重恶化，并影响大气的辐射平衡及气候。

中国自 1979 年徐国昌等[1]首先研究沙尘暴以来，“1993.5.5”金昌特强沙尘暴后及 2000—2002 年春季蒙古国东部和华北地区北部沙尘活动突然增强后，曾两次掀起沙尘暴的研究高潮[2]，研究内容已扩及它的各个侧面[1-20]，这些内容石广玉和赵思雄[3]，钱正安和蔡英等[2]已有专门评述。

就产生沙尘暴的环流而言，已有不同地区大量的个例分析[1,4-5,20]和多个例环流的合成分析及一些统计分析。例如，许宝玉和钱正安等[6]指出河西走廊及内蒙古中、西部 5 次特强沙尘暴爆发的共同环流特征：北疆高空槽，地面蒙古低压加冷锋；Liu 和 Qian 等[7]重点进行了中蒙中区强、弱沙尘暴年春季(3—5 月)平均环流的对比分析，强调蒙古低压的作用；刘景涛等[8]分析了内蒙古沙尘暴的 4 种环流型；Yoshino 等[9]和杨民等[10]研究了 1999—2001 年东北亚沙尘天气与日本海附近低压加强的密切关系；Qian 和 Quan[11]、王小玲等[12]则整体地统计了中国北方春季沙尘暴与地面低压(指蒙古国、日本海附近及南疆地面低压等)或风场间的正相关关系。

上述环流研究表明，沙尘暴与大气低层的环流联系更紧密，符合主要因近地面强风引起的事实。

* 初稿时间：2006 年 1 月 13 日；修改稿时间：2006 年 6 月 29 日。
资助课题：国家自然科学基金项目(40475039，40175022)；中国科学院东亚区域气候-环境重点实验室开放课题；中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-339，KZCX3-SW-329)。
作者简介：宋敏红，女，陕西宝鸡人，助研，主要从事西北干旱和青藏高原气候研究，E-mail：qza@lzb.ac.cn.

中蒙地区幅员辽阔,不同地区的沙尘暴爆发环流也不完全相同。近年有关沙尘暴活动变化及趋势的争议,主要也与讨论的区域不同等有关[13-20]。这些均启示我们既要整体地讨论中蒙地区沙尘暴活动的全貌,又应分别讨论各分区的沙尘暴环流预测及变化。

因此,本文首先将中蒙沙尘暴活动区划分为中蒙东、中及西 3 个分区,然后对比分析 3 个分区(侧重东、西两区)强、弱沙尘暴年春季平均环流的特征及其间的差异,最后分析中蒙地区沙尘暴活动的变化原因及趋势,为沙尘活动的年际短期气候预测提供着眼点。

2　分区及各区强、弱沙尘暴年的选择

我们曾在前文中将中蒙沙尘活动区粗分为东区(主要包括蒙古国东部和华北区北部)、中区(中国北疆、内蒙古中、西部、河西走廊、宁夏及蒙古国南部和西北部)及西区(南疆及柴达木盆地)(图 6)[7]。为分别讨论 3 分区沙尘暴活动的变化,我们在 3 分区中各选取 3 个有代表性的站:即中蒙东区的蒙古国赛音山德、中国朱日和及北京;中区的拐子湖、民勤及伊克乌素;西区的和田、民丰及诺羌。以各区内 3 站平均的年沙尘暴频数变化表示各区 1954—2005 年各区的沙尘暴频数变化(图 1)。

由图 1 可见,3 分区的沙尘暴频数虽有联系,但总体讲,两两间的相关系数 r 并不高($r<0.5$,部分时段例外)。其中,中区和西区更接近些,两区的年平均频数均为 26 次左右,而东区的频数不足 13 次,仅为前两区的一半。而且中、西两区的年平均频数自 20 世纪 80 年代中期起直至 2005 年总体均呈下降趋势,这段时间内两者的相关系数高达 0.82。而东区频数的起伏变化相对小些,自 90 年代中期起,特别是 2000—2002 年,沙尘天气急剧增强。如 1999 年北京站的沙尘活动(绝大多数为扬沙和浮尘)还仅 5 d;但 2000—2002 年则分别突增为 17、22 及 23 d;可是 2003 年又骤减为 0 d 了[21]。即 2000—2002 年春季中国北方沙尘活动突然增强主要出现在东区,也仅维持了 3 年。而自 80 年代以来,中、西两区的沙尘活动仍继续在减弱,这与周自江等[14]及陈晓光等[17]的结论一致。可见分区讨论沙尘暴变化的必要性。

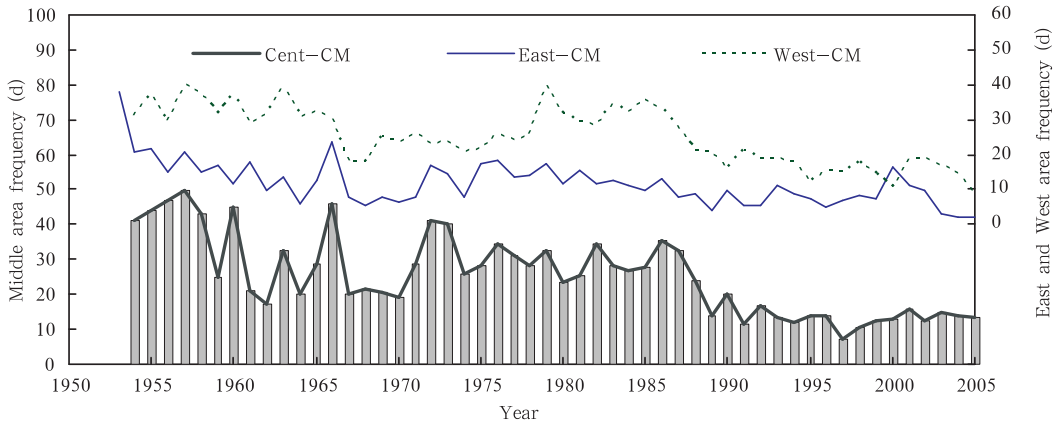


图 1　中蒙 3 分区沙尘暴年平均频数变化曲线

Fig. 1　Variations of yearly mean dust-storm frequency (day) in the three sub-areas of the China-Mongolia(CM) area in 1954−2005

因沙尘暴主要出现在春季,为对比分析各分区强、弱沙尘暴年春季平均环流的特征及其间的差异,又具有一定的代表性,我们主要按各年春季沙尘暴(特别是强和特强沙尘暴)次数多少,在 3 分区各选 3 个强、弱沙尘暴年,得到如下 3 分区强、弱沙尘暴年个例表(表 1)。它们几乎不相重,共覆盖了17 a。要说明的是,因历史上出现东区沙尘暴年较少,为了统一起见,本文才对 3 分区各选取 3 个强、弱年进行对比。实际上,文献[7]中已对中蒙中区作了更多强、弱沙尘暴年环流的对比分析。

下面利用了 NCEP/NCAR 的再分析格点值资料[22],分别计算各分区 3 个强、弱年春季(3—5 月)平均的 850 hPa 高度、温度及风场的距平场,各距平场均相对于 1968—1996 年春季的平均值求距平。

表 1 中蒙 3 分区强、弱沙尘暴年春季个例

Table 1 Typical strong and weak dust-storm years of the three sub-areas of the CM area

分区	强年	弱年
中蒙东区	2000,2001,2002	1999,2003,2004
中蒙中区	1963,1966,1972	1989,1991,1997
中蒙西区	1963,1983,1985	1968,1990,1995

3 强、弱沙尘暴年春季环流的平均特征及差异

下面依次讨论中蒙东、中及西区强、弱沙尘暴年春季 850 hPa 层高度、温度及流场的平均距平场。重点分析东北亚、蒙古国及塔里木盆地的环流场。

3.1 中蒙东区

东区沙尘暴强年春季平均高度距平场上(图 2a),在中、俄及朝接壤处有一个中心为−16 gpm 的负距平中心,而在蒙古国境内有一 20 gpm 的正距平中心,因系 3 个春季平均的距平,上述距平中心已算是较大的值了。再配合 850 hPa 风场距平图上,在日本海西北部和中国东北区东部,也确实存在清楚的距平气旋,在蒙古国则是距平反气旋(图 2c)。与常年春季相比,沙尘暴强年日本海及中国东北低压盛行,蒙古高压明显偏强。换言之,蒙古气旋明显减弱了。这样,蒙古国东部的高度梯度明显加大,易于形成较强的偏北风气流,图 2c 中蒙古国东部和内蒙古中部的偏北风较常年平均偏强 3 m/s 左右。这也是较强的风速距平了。于是其强偏北风先夹带蒙古国东部的沙尘南下;然后,沙尘又随东北(或日本海)气旋南部的强偏西气流东行,输送到韩、日等国;部分沙尘也可随偏北气流南下至台湾等地。这是偏东的北路(N_E)或东北路(NE)冷空气入侵的结果(图 6)。这些特征与 Yoshino 等[9]的结论吻合。需要指出,因这 3 年春季蒙古国盛行高压环流,中蒙南边界西段附近是明显偏强的东南风(西北风明显偏弱);南疆盆地南缘的偏西风距平也不明显(图 2c)。这些说明这 3 年春季东北亚地区的强沙尘活动主要不是中、西区系沙尘东移的结果。而且,从卫星图像

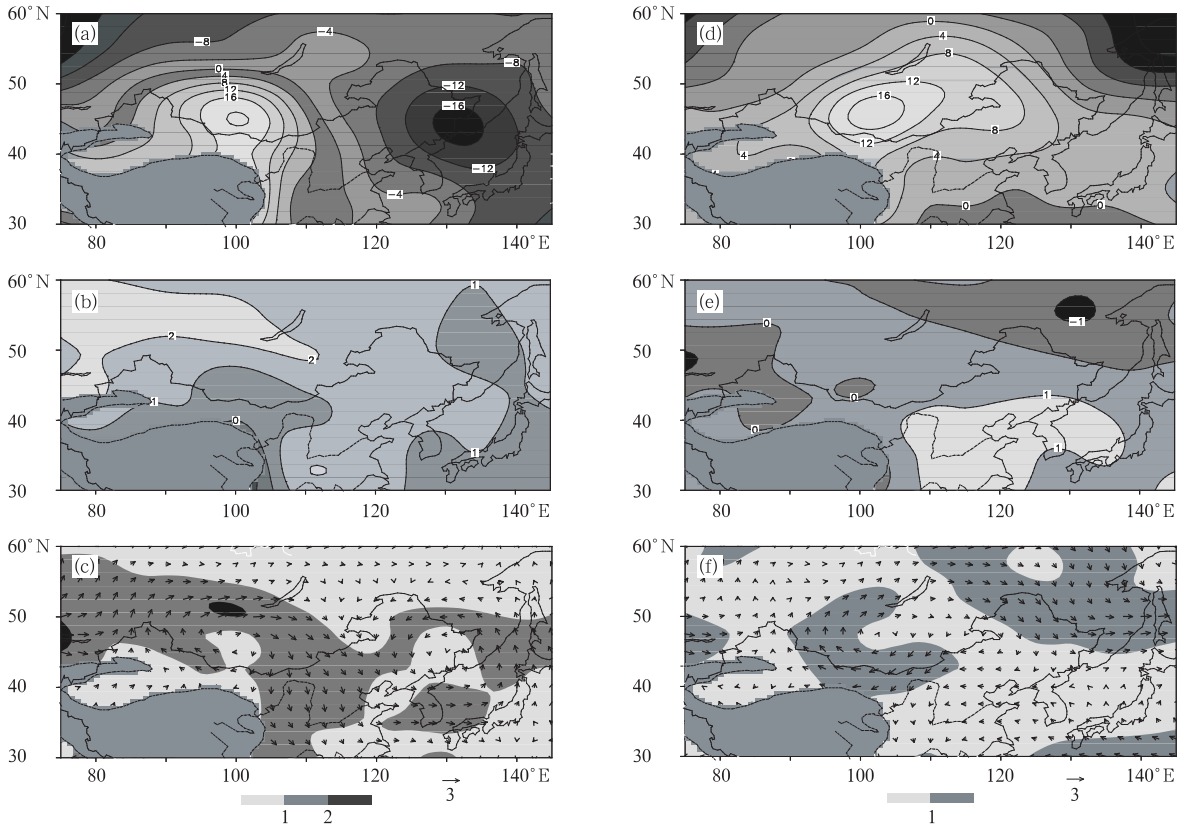


图 2 中蒙东区沙尘暴强(a,b,c)、弱(d,e,f)年春季 850 hPa 的高度(gpm)、温度(℃)和风场(m/s)平均距平

Fig. 2 Anomaly fields of spring mean 850 hPa height (gpm), temperature (℃) and wind (m/s) in typical (a, b, c) strong and (d, e, f) weak dust-storm years for the east-CM, respectively

中沙尘区的移动,也进一步证实,该 3 年的沙尘大多数来自蒙古国东部(李黄,个人通讯)。所以,中蒙东区是一不同于中、西区的沙尘暴活动区系。

而在中蒙东区沙尘暴弱年春季的高度距平场上(图 2d),虽然 16 gpm 的正距平中心仍在蒙古国;重要的是,日本海和中国东北区已转为正距平了;在风场距平图上,已不见距平气旋(图 2f)。蒙古国东部的高度梯度明显减弱,那里的偏北风距平也不明显,故东区的沙尘活动自然趋弱。

春季的 4 月沙尘活动更强。作为进一步对比,可再看一下典型强年 4 月(2000 年 4 月)和弱年 4 月(1999 年 4 月)间地面气旋位置、频数以及 850 hPa 的风距平图的差异(图 3)。根据 Yoshino 等[9]逐日 4 次定时观测地面天气图统计,2000 年 4 月地面气压低于 1000 hPa 的气旋中心绝大多数位于 40°—52.5°N,120°—150°E,为东北(或日本海)低压,多达 136 个次;而同月蒙古国及附近地区的低压仅出现 29 个次,前者约是后者的 5 倍(图 3a);结果,2000 年 4 月蒙古国东部的偏北风及华北地区的偏西风偏强 3—4 m/s(图 3b),沙尘活动强。按同样的标准,1999 年 4 月的 35 个次地面低压则全集中在蒙古国及附近地区,竟无 1 次东北(或日本海)低压发展(图 3c);这样,该月蒙古国东部及华北北部的风速微弱(图 3d),沙尘活动自然弱。强、弱沙尘暴年 4 月的环流差异明显。也要指出,在东区强、弱年春季平均的低层温度距平场上(图 2b, e),两者的差异并不大,即便是强年春季,虽有北路及东北路冷空气入侵,但在西伯利亚南部、蒙古国及中国北方,均表现出暖冬特征,仅黑龙江以北地区稍稍偏冷而已。张德二等[23]曾指出冷冬年更多沙尘暴,可能这主要指中蒙中、西区而言,东北路冷空气常比西北路或西路冷空气弱。

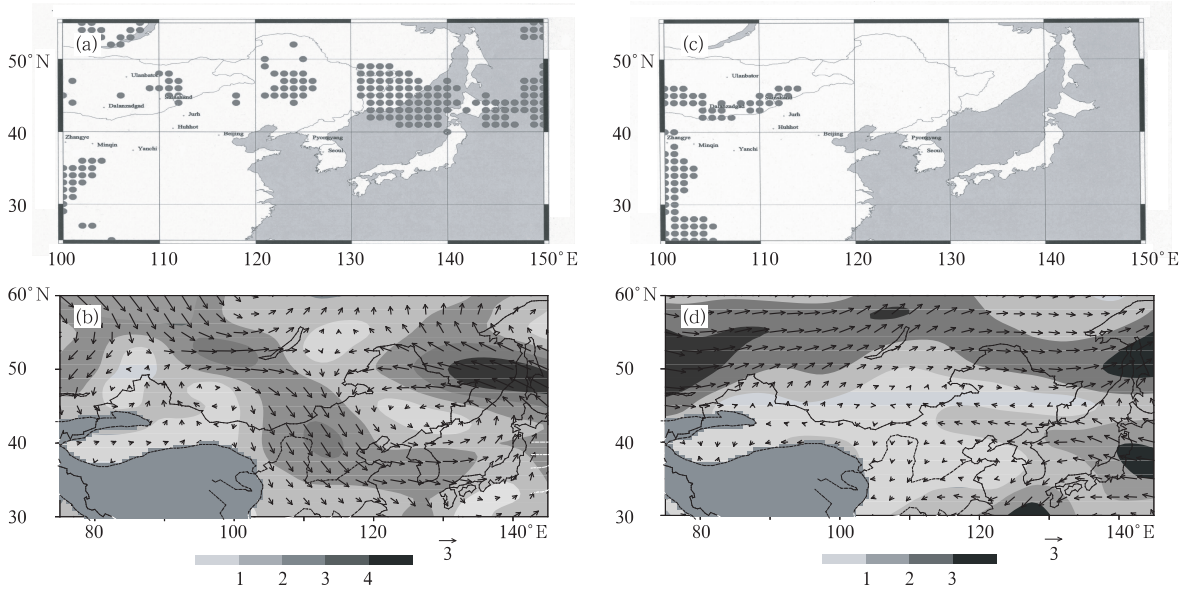


图 3　中蒙东区强、弱沙尘暴年 4 月的地面气旋位置(a, c)及 850 hPa 的风距平(b, d)

(a,b 为 2000 年 4 月, c,d 为 1999 年 4 月;a, c 引自文献[9],图中的黑点显示气旋中心位置)

Fig. 3　(a, c) Sites of the April surface cyclone centers and (b, d) 850hP wind anomalies in strong (2000, a,b), weak (1999, c,d) dust-storm years, respectively

((a) and (c) are from Yoshino et al[9], and black dots denote the sites of cyclone centers)

这就是说,中蒙东区强沙尘暴年春季是以盛行日本海(或东北)低压(包括部分偏东偏南的蒙古低压)以及东北路冷空气入侵为特征的。正是这些低压西部的强偏北风,带来偏东的北路或东北路冷空气入侵,也带来蒙古国东部的沙尘,它们是诱发东区强沙尘天气的主要天气系统。而东区弱沙尘暴年春季则少这两类低压及东北路冷空气入侵。

3.2　中蒙中区

中区强、弱年春季的环流差异就更明显了(图 4)。强年春季蒙古国中、西部的850 hPa高度距平低

至－40 gpm(图 4a)，明显强于东区强年日本海西北部的负高度距平中心值(图 2a)；对应的 850 hPa 风距平场上也呈现清楚的距平气旋；即沙尘暴强年春季的蒙古气旋比常年明显偏强。中蒙南边界西段的偏西风也比常年偏强 2 m/s 左右(图 4c)。在我们分析的 1979 年等 5 个更强的中区强年个例中，该区的偏西风平均要偏强 3—4 m/s[7]。加上 850 hPa 温度距平场上(图 4b)，西西伯利亚南部有－2℃的负距平中心，河西走廊东段有 2℃的正距平中心，这一“北负南正”型距平分布格局加强了中蒙南边界西段附近的低层锋区强度。陈楠和陈晓光等[24]也强调宁夏地区强沙尘暴的这一特征。结果蒙古气旋西南部(即跟随其后的强蒙古高压前缘)冷锋后的强西北风，带来强西北路(NW)或偏西的北路(WNW)冷空气入侵(图 6)，引起中蒙中区沙尘暴爆发。

几乎相反，中区沙尘暴弱年春季蒙古国地区已为正高度距平，平均达 24 gpm(图 4d)；对应的风场距平图上，蒙古地区风向零乱，中蒙南边界西段已是偏强 2—3 m/s 的偏东风(图 4f)，即蒙古低压已明显减弱，甚至转为反气旋了。西西伯利亚南部比常年偏暖 2 ℃(图 4e)，中蒙南边界西段附近的锋区已大为减弱，故西北路冷空气活动减弱，少沙尘暴活动。这些 Liu 和 Qian 等[7]已有分析，两文所选个例不同，但其结果相互印证。

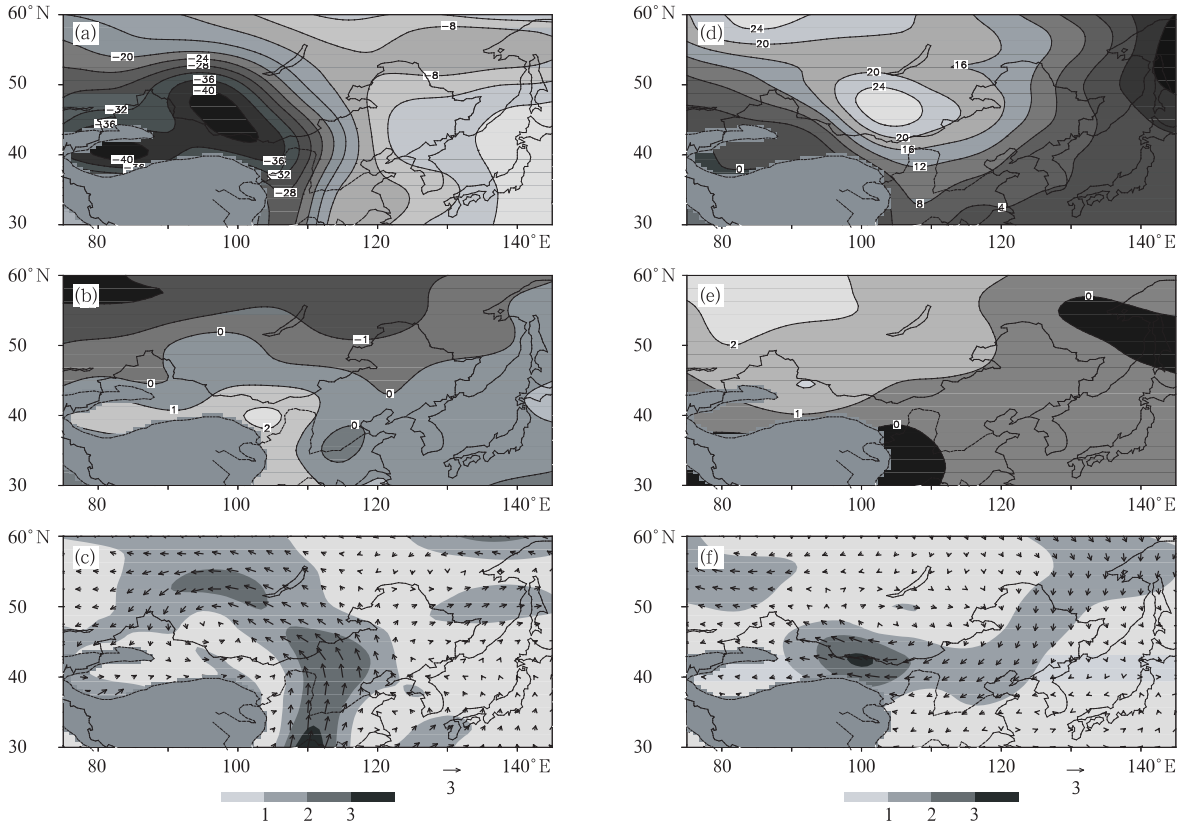


图 4 同图 2，但为中蒙中区

Fig. 4 Same as Fig. 2 but for the mid-CM

所以，中蒙中区强沙尘暴年春季的平均环流以盛行蒙古气旋活动及西北路冷空气入侵为特征。伴随着一次次蒙古气旋的强烈发展，中蒙南边界西段低层锋区加强，造成中蒙南边界西段附近沙尘暴爆发。故蒙古气旋加冷锋是该区常见的沙尘暴诱生系统，而弱年春季则反之。

3.3 中蒙西区

在西区强沙尘暴年春季，南疆盆地及中蒙南边界西段附近为相对独立的两片－20 gpm 的负高度距平区(图 5a)；对应的温度距平场上(图 5b)，在南疆盆地及中蒙南边界西段附近均为“北负南正”的距平分布格局；再结合风场距平图上(图 5c)，南疆盆

地为弱距平气旋,中蒙南边界西段附近为更弱的距平气旋,这表明南疆盆地更多热低压活动。结果盆地南缘的偏西风较常年偏强 2 m/s 左右,于是西路(W)冷空气入侵(图 6),它吹起南疆的沙尘,诱发西区(南疆、柴达木盆地及河西走廊西段)的沙尘暴。

也几乎相反,在西区沙尘暴弱年,850 hPa 高度距平场上南疆盆地和蒙古国西部为弱正距平区(图 5d);对应的风场距平图上,南疆盆地为弱距平反气旋,盆地南缘为弱距平东风(图 5f)。表明弱年春季南疆盆地已不再盛行低压,盆地南缘也不再盛行较强的西风。再加温度距平场上,在 45°N 南北两侧为"北正南负"的弱低层锋区形势(图 5e),故少沙尘天气出现。

这样,中蒙西区沙尘暴强年春季的平均环流是以盛行南疆热低压及西路冷空气入侵为特征的,弱年则反之。

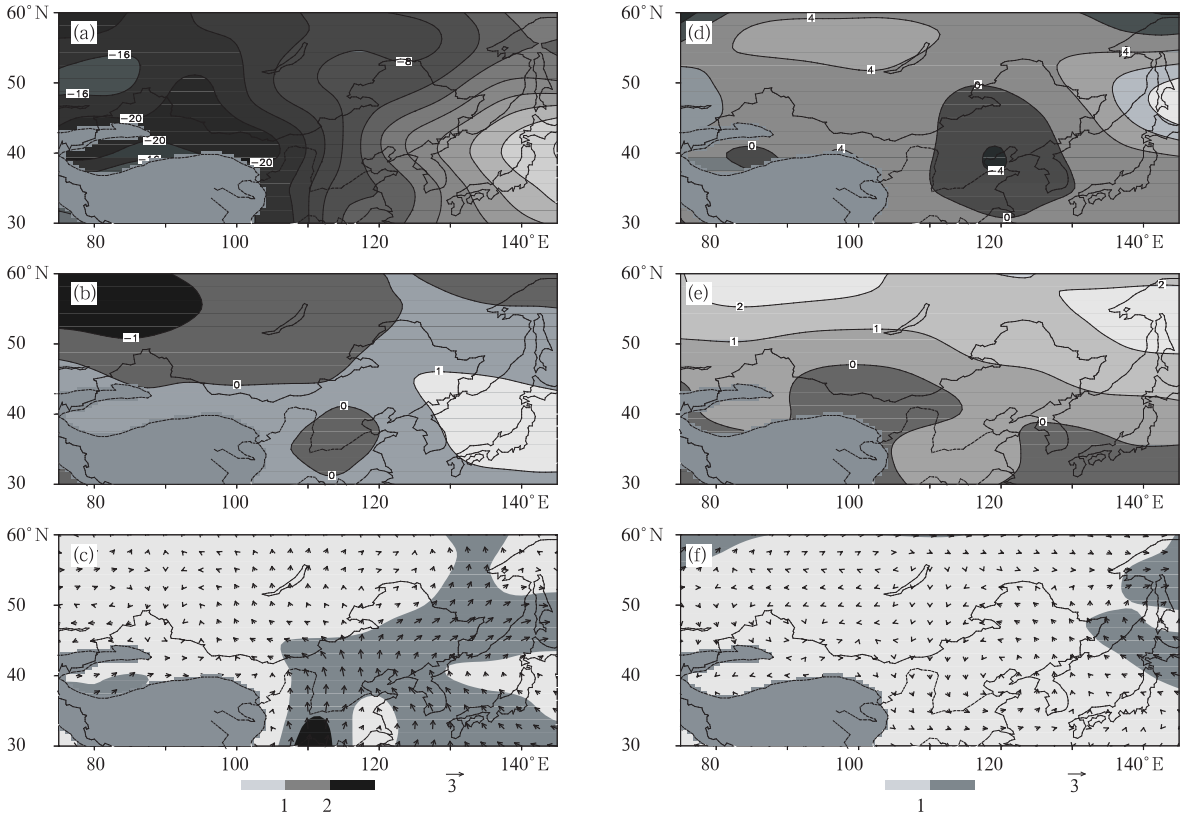


图 5　同图 2,但为中蒙西区

Fig. 5　Same as Fig. 2 but for the west-CM

3.4　3 区系沙尘暴活动比较

上述分析表明,中蒙东、中及西 3 区,在强沙尘暴年春季各有它自己最常见的沙尘暴诱生系统及主要沙尘源区,其强冷空气的入侵路径及主要影响区域也是不同的。同时,同一分区强、弱年春季间的平均环流差异明显。因此是 3 个不同的区系,可按以上四方面将 3 区系的沙尘暴活动特征总结如表 2 及图 6。

由表 2 可见,以中蒙中区为例,该区强沙尘暴年春季的沙尘暴诱生系统主要是蒙古低压(或槽)加冷锋;其主要沙源区在中蒙南边界两侧地区,即蒙古国南戈壁和中国巴丹吉林及腾格里沙漠等;常为西北路或偏西的北路强冷空气入侵(图 6);它主要影响北疆、内蒙古中西部、河西走廊、宁夏以及蒙古国南部等地区。而弱沙尘暴年春季则少蒙古低压(或槽)活动。类似地,中蒙东、西区系的沙尘暴活动特征详见表 2,不再赘述。要说明的是,表 2 虽仅强调了 3 区系大气低层的环流特征,但是,根据王式功等的研究(个人通讯),实际上蒙古低压及日本海低压等的发展常是相当深厚的。图 6 的冷空气入侵路径符合天气

预报实践，中蒙地区 8 大沙尘暴多发区也正好在各主要冷空气入侵路径上[2]，还得到吉野正敏等[25] 1998 和 2000 年 2—5 月历次冷空气路径的验证。

在以上 3 区系中，中区因分布着中国民勤及蒙古国达兰扎德嘎德等中蒙 8 大沙尘暴多发区中的 5 大沙尘暴多发区（图 6），故该区沙尘暴出现频数最高[2]；又因中蒙南边界附近低层锋区常常更强，有时可出现 25—40 m/s 的极大风速，故该区常出现强或特强沙尘暴，如“1993.5.5”金昌强沙尘暴。它是近 50 年来（特别是 50—70 年代）最常出现，对中国影响也最大的沙尘暴活动区系。

因南疆盆地 4—7 月多热低压活动，每年的沙尘活动持续时间长，故沙尘暴的出现频数最高（特别是南疆盆地中部）；但因其极大风速常不超过 20 m/s，其沙尘暴强度弱于中区；又因其 3 面环山的封闭的盆地地形等原因，其沙尘常滞留于南疆盆地中，即便东移，主要也仅影响柴达木盆地及河西西段等地区[2]。

表 2 中蒙地区 3 区系沙尘暴活动特征总结

Table 2 Summary of dust-storm activity features over the three sub-regimes in the China-Mongolia area

分区	沙尘暴诱生系统	主要沙尘源区	冷空气入侵路径	主要影响地区
东区	日本海或东北低压（或槽）	蒙古东戈壁及浑善达克沙地	偏东的北路或东北路	蒙古国东部、华北区北部、中国东北、韩国、日本及台湾
中区	蒙古低压（或槽）	中蒙南边界两侧戈壁及沙漠	西北或偏西的北路	北疆、内蒙古中西部、河西走廊、宁夏以及蒙古国南部
西区	南疆热低压（或槽）	塔克拉玛干沙漠	西路	南疆盆地、河西走廊西部及柴达木盆地等地区

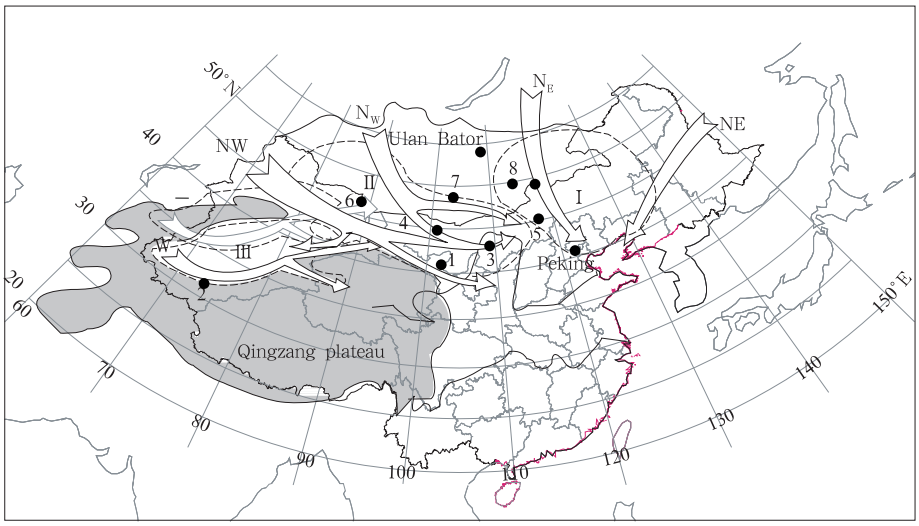


图 6 中蒙沙尘暴活动分区及主要冷空气入侵路径

（Ⅰ，Ⅱ及Ⅲ分别为中蒙东、中及西区 3 区（由粗虚线分隔开）；W，NW 及 N_W 分别为西路、西北路及偏西的北路冷空气路径，余者类推；数字 1—8 处分别表示中国民勤、和田、伊克乌素、拐子湖、朱日和、淖毛湖及蒙古国达兰扎德嘎德和赛音山达等 8 大沙尘暴多发区）

Fig. 6 Sub-regimes of dust-storm activities over China-Mongolia and cold air intrusion routes

（Ⅰ, Ⅱ and Ⅲ denote the East-, Middle-, and West-CM sub-areas of the CM area, respectively. W, NW, N_W and N_E indicate orderly the West, Northwest, North by west, and North by east intrusion routes of cold air, respectively. Numbers 1—8 represent the stations of Minqin, Hetian, Yikewusu, Guaizihu, Zhurihe, Naomaohu in China and Dalanzade, Saiyinshande in Mongolia, respectively）

东区沙尘暴的频数少,强度也弱些。如据张小玲等[22]近 30 a 统计,北京地区的年平均沙尘暴日数还不足 1 d,致使前面想选取更多东区强年个例都难。还要指出,东区的强、弱沙尘暴年个例均出现在近几年。2006 年春季的沙尘活动比 2003—2005 年强。其中,3 月 9—10 日,4 月 6—8,7—11 及 16—17 日的沙尘天气主要是偏东偏南的蒙古低压或东北低压发展所至,其中,4 月 6—7 日蒙古国东部的肯特省、苏赫巴特尔省及东戈壁省的强风达 20—28 m/s,其强沙尘暴造成 8 人死亡,4 人失踪,无数牲畜走失,后来也严重影响华北、韩国等地[26];4 月 9—10 日的强沙尘暴更使新疆进京的 T70 次列车迎风面的车窗玻璃全部被砂石砸碎,6 名野外作业的民工走失[26]。这些特征类似于 2000—2002 年[27]。似乎在平静了 3 a 后,2006 年春季东区的沙尘活动又趋强了。还值得指出,因中蒙东区地处中区下游,不仅中区的沙尘东输会影响东区;而且诱生中区沙尘暴的蒙古低压东移至东北,继续维持或加深时也会影响东区,如 2006 年 4 月 9—11 日的东区沙尘暴;同时,在东北或日本海新生发展的低压也会造成东区的沙尘天气,如 2000 年 4 月 9—13 日的东区沙尘天气[28]。后面将指出,该区系似乎是近 20 年全球明显不均匀变暖背景下的产物,有别于中蒙中区,故单独列出。过去对它注意不够,在目前全球变暖背景下,作好该区系沙尘活动的预报有现实意义。

比较图 4a—c 和图 5a—c 还需指出,中、西区地域相邻,该两区的沙尘暴强、弱年也常是相伴出现的;而且该两区强年春季在青藏高原东侧 110°E 附近均盛行 3—5 m/s 的偏南风距平,这可能与强年春季高原东侧盛行“北槽(或蒙古低压)南涡(西南涡)”形势有关。从典型年 1963 年春季西北区东部多春雨的实况推测,它的降水清洗作用有利于削弱中、西区沙尘对下游区的影响。

4　沙尘活动变化及趋势分析

对近 50 年沙尘暴活动变化的原因,人们常持荒漠化环境和大气环流变化两种观点。

因荒漠化环境为沙尘提供了物质基础,人们首先强调荒漠化的影响。但是迫于人口增长和粮食需求的压力,近 50 年来中国北方的荒漠化虽局部得到控制,还普遍存在过垦、过牧及过采地下水等现象,结果 20 世纪 50—90 年代末,中国荒漠化的平均速度从 1560 km^2/a 增长到 2460 km^2/a,一直在扩展中[29]。这能解释 50—70 年代沙尘活动不断增长的事实[2],却难以解释 80 年代至 2005 年中蒙中、西区沙尘活动一直在减弱,而东区 2000—2002 年突然骤增,2003—2005 年又急剧减弱的事实。因荒漠化的影响是一种明显滞后的缓变过程。这些启示,荒漠化虽是引起沙尘活动的物质基础,是引起沙尘活动变化的重要原因之一,可能还不是主要原因。

相反,大气环流能较好地解释上述沙尘活动的变化。为简洁清楚,我们绘制了 40°—50° N 和 37.5°—50°N 两个纬度带内逐年春季格点平均的 850 hPa 位势高度的经度-时间剖面图(图 7),以分别反映逐年春季蒙古国与中国东北及日本海地区平均高度场的变化。

在图 7a 中,从 50 年代—70 年代中期,除 1955 年前后及 1965 年春季新疆及蒙古国 850 hPa 平均高度稍高(＞144 dagpm)外,其余年平均高度＜144 dagpm,甚至低至 139 dagpm。即这期间盛行蒙古及北疆低压(或槽)活动,中蒙中、西区多沙尘活动,并呈增强趋势。在图 7b 中,从 50 年代—80 年代中期,中国东北及日本海地区 850 hPa 的平均高度也常偏低至 141 dagpm,即也多低压活动,加上部分中区沙尘东移的影响,故东区这一时期的沙尘暴频数也稍多,常在 10 次以上(图 1)。

1976—2005 年,蒙古地区的平均位势高度在增加,平均增长了 3 dagpm 左右,蒙古国西部的增长幅度更大(图 7a),这表明 1976 年后蒙古低压活动趋弱,转而多蒙古高压脊活动,结果中蒙南边界西段附近的风速也持续减小,河西走廊及内蒙古西部的平均风速及最大风速已分别从 70 年代的 4 和 18 m/s 逐渐减小到目前的 2.3 和 11 m/s[30-31]。这样,中、西两区的沙尘活动也一直在减弱中(图 1)。至于 80 年代后蒙新地区等压面逐渐升高的原因,可能主要与全球增暖有关。根据地面实测温度计算,近 20 年来因中蒙南边界附近是亚洲中高纬度冬春季增暖最显著的地区之一,内蒙古临河及拐子湖一带近 20 年比前 20 年平均增温 2.5 ℃左右[32],根据静力方程,那里的低层等压面将因气柱明显增暖而明显抬升。

与中蒙中区类似,1976 年后中蒙东区的平均高度也在缓慢增长(图 7b),由于东区气旋活动减少,加上中区的沙尘活动减弱,故东区的平均沙尘暴频数也减至10次以下(图1)。但1995年后,特别是

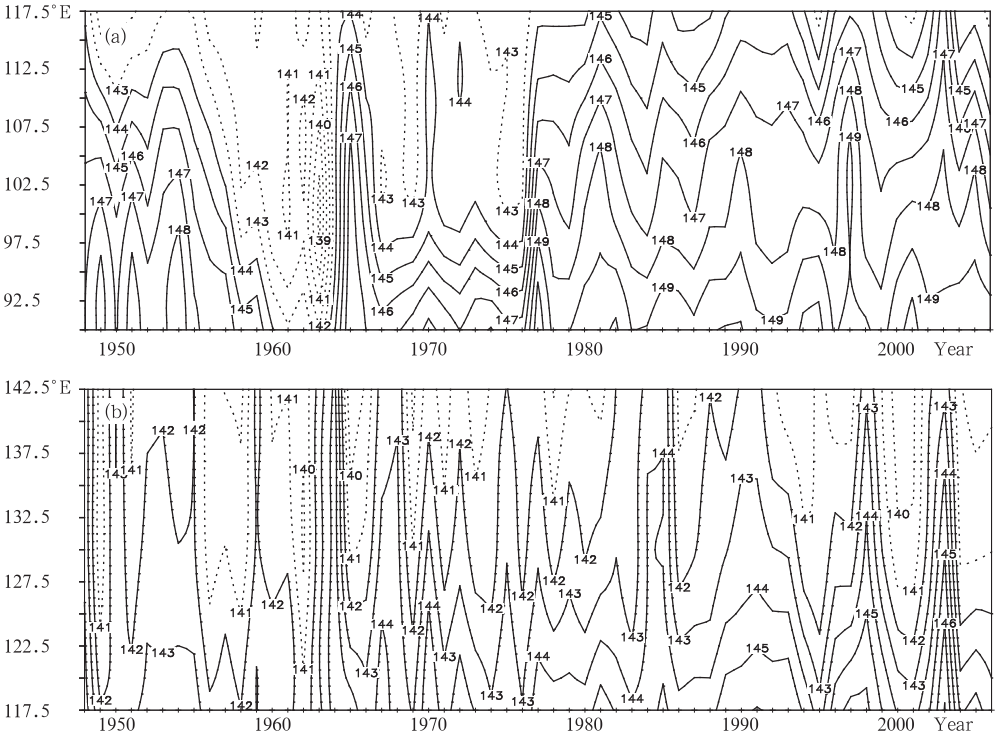


图 7 40°—50°N(a)和 37.5°—50°N (b)两纬度带内逐年春季平均的 850 hPa 高度经度-时间剖面

Fig. 7 Longitude-time cross sections of mean 850 hPa height (dagpm) over (a) 40°—50°N and (b) 37.5°—50°N in spring

2000—2002 年春季,东区的平均高度突然降至 140 dagpm以下;与 50—70 年代不同的是,80 年代后因蒙古地区已是明显增强了的高压脊背景,这时东北或日本海低压加强,将使蒙古国东部的高度梯度增大,故更多强偏北风和沙尘天气。可随 2003—2005 年春季东北及日本海低压明显减弱,东区的沙尘暴也随之减弱了。在目前全球变暖,盛行蒙古高压脊背景下,东区的沙尘天气将随东北及日本海低压加强(减弱)而加强(减弱),具有多变的特征。以上分析表明,中蒙地区低层大气环流的变化,特别是东北及日本海、蒙古和南疆盆地低压活动的变化能更好地解释各分区近 50 年来各阶段沙尘活动的变化。因而,大气环流可能才是引起沙尘活动变化的主要原因。

主要从大气环流因素考虑,各种观测研究和数值模拟结果都显示,未来全球变暖仍将会维持一段时间。这样,未来若干年春季蒙古及新疆地区仍将维持较强的高压脊背景,因少蒙古低压及南疆低压活动,中蒙中、西区的沙尘活动似乎仍偏弱;但要注意东区低压活动突变和多变的特点,中西区的沙尘活动差不多也已减弱至最低点,再结合 2006 年春季东区和中区的沙尘活动均在趋强的实况[27],近 1—2 年要密切注视中蒙东、中区(特别是东区)沙尘活动加强的可能性。

5 结 论

上面我们分区讨论了中蒙 3 分区近 50 年沙尘活动的变化,对比分析了强、弱沙尘年春季平均环流的差异,也讨论了沙尘活动变化的可能原因及趋势。由上述分析,可得到如下主要结论:

(1) 应分区(而不是整体地)讨论中蒙地区沙尘暴活动的变化及预测。根据沙尘暴的诱生系统、沙尘源地、冷空气入侵路径和沙尘主要影响区等,中蒙地区的沙尘活动可以分为中蒙东区、中区和西区 3 个区系。

(2) 中蒙东区沙尘暴强年春季,盛行日本海或中国东北低压(或槽)活动,多偏东的北路或东北路冷空气入侵,并带来蒙古东部的沙尘,影响蒙古国东

部、华北区北部和韩、日等地区;而东区沙尘暴弱年则少日本海及东北低压活动。

(3) 中蒙中区沙尘暴强年春季,盛行蒙古低压(或槽)活动,多西北路或偏西的北路强冷空气入侵,常带来中蒙南边界西段两侧的沙尘,它主要影响蒙古国西部和南部、中国内蒙古中西部、宁夏及河西走廊地区;而沙尘暴弱年则少蒙古低压活动。

(4) 中蒙西区沙尘暴强年,南疆盆地盛行热低压,盆地南缘的偏西风加强,西路冷空气带来南疆的沙尘,常影响南疆盆地、河西走廊西部及柴达木盆地;而沙尘暴弱年则少南疆热低压活动。

(5) 中蒙 3 分区低压环流的变化能较好地解释过去 50 年来不同时期各分区沙尘活动的变化,即大气环流可能是导致沙尘活动变化的主要原因。主要从大气环流变化因素考虑,在全球变暖和春季蒙古脊增强的背景下,结合 2006 年的沙尘活动实况,未来中蒙中东区(特别是东区)的沙尘活动可能趋强。

参考文献

[1] 徐国昌,陈敏连,吴国雄. 甘肃省特大沙尘暴分析. 气象学报,1979,37(4):26-35

[2] 钱正安,蔡英,刘景涛等. 中蒙地区沙尘暴研究的若干进展. 地球物理学报,2005,49(1):83-92

[3] 石广玉,赵思雄. 沙尘暴研究中的若干问题. 大气科学,2003,27(4):591-606

[4] 郑新江,徐建芬,罗敬宁等. 1998 年 4 月 14—15 日强沙尘暴过程分析. 高原气象,2001,20(2):180-185

[5] 徐建芬,陶建红,杨民. 2000 年 4 月 12 日特强沙尘暴天气分析//陈晓光等.西北重要天气成因及数值预报方法研究. 北京:气象出版社,2002:163-167

[6] 许宝玉,钱正安,焦彦军. 西北地区五次特强沙尘暴前期形势和要素场的综合分析与预报//方宗义等.中国沙尘暴研究. 北京:气象出版社,1997:44-51

[7] Liu C M, Qian Z A, Wu M C, et al. A composite study of the synoptic differences between major and minor dust storm springs over the China-Mongolia areas. T A O, 2004, 15(5): 999-1018

[8] 刘景涛,钱正安,姜学恭等. 中国北方特强沙尘暴的天气系统分型研究. 高原气象,2004,23(4):540-547

[9] Yoshino M, Shimizu G, Yamamoto T, et al . A Synoptic Climatological Study on the Change of Yellow Sand in the Recent Years. International Workshop on Dust Storm (IWDUST, 2002), held in Beijing on October 31-November 2, 2002

[10] 杨民,蔡玉琴,王式功等. 2000 年春季中国北方沙尘暴天气气候成因研究// 第二次全国沙尘暴学术会议. 兰州,2001,2,23—25

[11] Qian W H, Quan L S, Shi S Y. Variations of the dust storm in China and its climatic control. J Climate, 2002, 15(10): 1216-1229

[12] 王小玲,翟盘茂. 中国春季沙尘天气频数的时空变化及其与地面风压场的关系. 气象学报,2004,62(1):96-103

[13] 钱正安,贺慧霞,瞿章. 我国西北地区沙尘暴的分级标准、个例谱及其统计特征//方宗义等.中国沙尘暴研究. 北京:气象出版社,1997:1-10

[14] 周自江,王锡稳,牛若芸. 近 47 年中国沙尘暴和扬沙天气//第二次全国沙尘暴学术会议,兰州,2001 年 2 月 23-25 日

[15] 钱正安,宋敏红,李万元. 近 50 年来中国北方沙尘暴的分布和变化趋势分析. 中国沙漠,2002,22(2):106-111

[16] 叶笃正,丑纪范,刘纪远等.关于我国华北沙尘天气的成因与治理对策. 地理学报,2001,55(5):513-522

[17] 陈晓光,张华,李耀辉等. 我国西北沙尘暴分析//第二次全国沙尘暴学术会议. 兰州,2001,2,23—25

[18] 王涛,陈广庭,钱正安等. 中国北方沙尘暴现状及对策. 中国沙漠,2001,21(4):322-323

[19] 张莉,任国玉. 中国北方沙尘暴频数演化及其气候成因分析. 气象学报,2003,61(6):744-750

[20] 赵翠光,刘还珠. 我国北方沙尘暴发生的环流形势分析. 应用气象学报,2004,15(2):245-250

[21] 张小玲,李青春,谢璞等. 近年来北京沙尘天气特征及成因分析. 中国沙漠,2005,25(3):417-421

[22] Kalnay E, Kanamitsu R, Kistler, et al. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. Bull Amer Meteo Soc, 1996,77: 437-471

[23] 张德二,陆风. 我国北方的冬季沙尘暴. 第四纪研究,1999,19(5):441-447

[24] 陈楠,陈晓光,赵光平. 宁夏不同强度沙尘暴环流差异特征的对比分析. 高原气象,2006,25(4):680-686

[25] 吉野正敏,铃木润,清水刚等. 东亚沙尘暴频数变化及相关问题的气候学研究. (日本)地球环境,2002,7(2):243-254

[26] 江雪晴,张利霞,余纯纯等. 沙尘暴不能全怪中国. 环球时报,2006 年 4 月 14 日 1,6 版

[27] 张小玲,宋敏红,钱正安等. 2006 年春季中蒙地区沙尘活动回顾及分析//海峡两岸沙尘暴及环境治理学术研讨会,兰州,2006 年 9 月 4-5 日

[28] 蔡英,钱正安,宋敏红等. 2000 年 4 月中蒙东、中区沙尘暴环流的数值模拟//海峡两岸沙尘暴及环境治理学术研讨会,台湾中□ 2005 年 11 月 29-30 日,407-421

[29] 秦大河. 中国西部环境演变评估综合报告(综合卷). 北京:科学出版社,2002:1-80

[30] 李振朝,韦志刚,高荣. 近 50 年河西绿洲地面风的时空变化特征. 高原气象,2004,23(2):259-263

[31] 尤莉,王革丽,吴学宏等. 内蒙古阿拉善地区沙尘暴气候特征分析. 高原气象,2004,23(3):382-386

[32] 李万元,钱正安. 中蒙干旱半干旱区冬夏季地面气温场时空变化特征的分析(Ⅰ):1 月. 高原气象,2005,24(6):889-897

ANALYSES OF SPRING MEAN CIRCULATIONS FOR STRONG AND WEAK DUST-STORM ACTIVITY YEARS IN CHINA-MONGOLIA AREA

Song Minhong[1,2] Qian Zhengan[1,2] Cai Ying[1,2] Liu Chungming[3]

1 *Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS, Lanzhou* 730000

2 *Key Laboratory of Regional Climate Environment Research for Temperature East Asia, CAS, Beijing* 100029

3 *Department of Atmospheric Sciences, National Taiwan University, Taipei* 106

Abstract

The China-Mongolia (CM) area is one of major duststorm (hereafter DS) regions in the world. In view of the different features of DS activities in various sub-regimes of the CM area, firstly, the CM DS area covering North China and Mongolia is divided into three sub-regimes: the east-, middle- and west-CM subareas; secondly, the mid- and lower-level mean circulation features and differences for springs with strong and weak DS activities in the three sub-regimes are further analyzed, utilizing the NCEP/NCAR reanalyzed gridded data and observed DS frequency data in the CM area, and the composite analysis method. The main conclusions are as follows: (1) Due to differences in the DS-inducing systems, dust origins, routes of cold air, and main DS-hit areas, the whole CM DS area is divided into three sub-regimes: the east-, middle- and west-CM sub-areas. (2) In the strong DS springs of the east sub-regime, the middle- and lower-level troughs or cyclones frequently dominated over the Sea of Japan and Northeast China. The cold air intrusion along a north by east- or northeast-route brought about the DS activity in East Mongolia, Beijing, and Northeast China, and dusty weather in Korea, Japan and Taiwan. But nearly vice versa in weak DS springs. (3) In the strong DS springs of the middle sub-regime, the Mongolia troughs or cyclones were major DS-inducing systems. The strong cold air intrusion along a northwest- or north by west-route caused the DS in the West and Central Inner-Mongolia, the Gansu Corridor and West- and South-Mongolia. In weak DS springs, the opposite is nearly true. (4) In strong DS springs of the west sub-regime, heat lows prevailed over the South Xinjiang, and the west wind in the south edge of the South Xinjiang Basin was so strong that the cold air intrusion along a west route induced the DS in South Xinjiang, the West Gansu Corridor and the Caidam Basin; and vice versa in weak DS springs. (5) In the past 50 years, the middle-subregimes DS activities played the most important role in CM DS activities, but in recent years it is necessary to pay more attention to the east-subregimes DS activities under backgrounds of the global warming and strengthening Mongolia ridges in spring.

Key words: East-, middle- and west-subareas of the China-Mongolia area, Strong and weak dust-storm spring, Dust-storm-inducing system, Cold air intrusion route, Trend of dust-storm activity.