

文章编号: 2096-1618(2016)05-0508-11

西藏积雪的空间分布特征及时间演变规律

周晓莉¹, 假拉², 肖天贵¹

(1. 成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225; 2. 西藏自治区气象台, 西藏 拉萨 850000)

摘要: 为了解西藏积雪的时间变化规律和空间分布特征, 采用统计分析和 EOF 分解方法, 对西藏 34 个站点 1979 ~ 2013 年的日积雪深度和积雪日数资料进行系统分析, 得出主要结论: (1) 西藏地区积雪深度在 2 月最大, 7 月最小; 积雪日数在 1 月最大, 7、8 月最小。 (2) 西藏地区年及春、夏、秋、冬季累积积雪深度和累积积雪日数都呈减小的趋势。 (3) 西藏地区年累积积雪日数和积雪深度主要有 3 个大值中心: 喜马拉雅山脉中段地区; 喜马拉雅山脉东段区; 那曲地区中、东部。

关键词: 气象学; 高原气象学; 西藏; 积雪; EOF; 时间变化; 空间分布

中图分类号: P468.0+25

文献标志码: A

0 引言

青藏高原被称作“世界第三极”, 平均海拔超过四千米, 能与对流层中层大气直接发生热量交换, 凭借其独特的动力以及热力作用能对东亚甚至全球的环流形式产生重大的影响。积雪作为青藏高原下垫面自然景观的一大特征, 对地表与大气热力状况有深刻的影响。随着全球气候变暖, 欧亚大陆积雪呈明显的下降趋势, 但青藏高原积雪和格陵兰冰盖表面的高程却呈现上升的趋势, 这说明积雪量随着全球变暖而增多似乎是极寒冷地区独特的变化规律^[1]。研究表明积雪在融化时吸收热量, 融化后水分下渗进入土壤使其湿度增加, “湿土壤”通过与大气之间长久的相互作用可以将积雪异常的信号长时间保存^[2]。国内外许多学者研究论证了高原的积雪面积与深度、持续时间及因此而改变的地表反照率, 对局地或半球范围内的季节性大气环流有着极其显著的影响^[3]。高原雪盖可以通过影响下垫面的辐射及能量收支影响到对流层的热力状况, 从而影响东南亚季风和降水^[4]。目前, 高原积雪对东南亚季风以及中国东部降水的影响成了国内外气象工作者研究的热点问题, 众多研究证明高原积雪同长江流域夏季降水存在显著的正相关关系并且同华南以及华北夏季降水存在显著的反相关关系^[5], 此外还指出青藏高原积雪增多会削弱青藏高原的热源效应, 海陆温差便随之减小, 以至于减弱季风, 故而引发“南涝北旱”现象^[6]。青藏高原积雪对高原季风产生影响的主要机理是高原积雪增加会增大地表反射率, 从而

使地表温度降低, 地表温度降低造成地表与大气之间的热量传输减少, 从而削弱青藏高原的热源效应。另外, 高原积雪增加对亚洲夏季风有减弱或推迟作用, 高原积雪作为重要的陆面强迫因子, 与一些影响中国天气气候的因子如副高、阻高、冬夏季风、ENSO、海温等有着密切联系^[7]。综上所述, 青藏高原积雪的演变规律在全球气候变化研究中占有相当重要的地位, 而西藏高原在青藏高原地域中占有较大比重, 因此研究西藏地区积雪的分布特征对预测气候变化有重要意义。

目前对西藏大范围积雪的长时间序列分析研究还较少。巴桑等^[8]利用 1980 ~ 2009 年气象台站的观测数据、北半球 NOAA 周积雪产品和 2001 ~ 2010 年 500 m 分辨率的 EOS/MODIS 积雪产品等多源资料, 对西藏区域积雪变化趋势进行分析。白淑英等^[9]利用 1979 ~ 2010 年逐日雪深被动微波遥感数据以及同期气象资料, 研究西藏雪深时空变化特征及其与气候因子的响应关系。白淑英等^[10]利用 2000 年 3 月 ~ 2011 年 2 月的 MODIS 雪盖产品数据、1979 ~ 2010 年逐日雪深被动微波遥感数据 DEM 数据以及地面气象观测数据分析了西藏高原雪深、雪盖和雪线的时空变化规律及其对气候变化的响应关系。唐小萍等^[11]利用 1971 ~ 2010 年西藏高原积雪日数资料, 分析了西藏高原积雪的时空分布特征。于金媛等^[12]利用 2001 ~ 2013 年 MODIS10A2 积雪产品数据对西藏墨竹工卡县积雪的时空变化特征进行分析。这些研究利用不同资料、不同方法对西藏地区积雪的时空分布规律进行研究。文中主要利用 1979 ~ 2013 年西藏积雪深度和积雪日数的地面观测资料, 对西藏地区积雪深度和积雪日数的时间变化规律和空间分布特征进行比较系统地分析。

收稿日期: 2016-01-27

基金项目: 公益性行业(气象)科研专项资助项目(GYHY201406015); 国家自然科学基金重点基金资助项目(91337215); 国家重点基础研究发展计划资助项目(2013CB733206、2012CB417202)

1 资料和方法

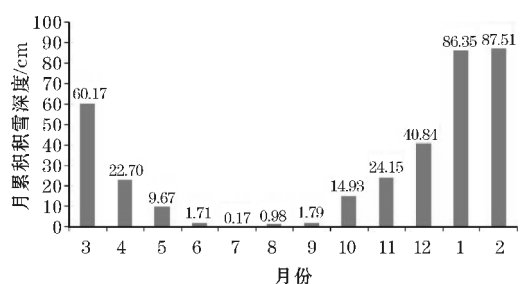
所用积雪资料来源于西藏自治区气象台和国家气候中心。选用西藏 34 个观测站点的逐日积雪深度资料,时间为 1979~2013 年。

2 西藏积雪的时间演变规律

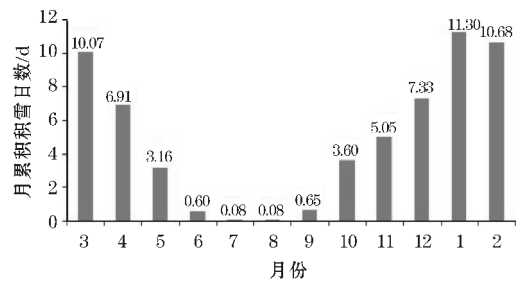
主要从西藏地区积雪日数与积雪深度的年内变化与年际变化这两方面分析西藏积雪的时间演变规律。

2.1 西藏积雪深度与积雪日数的年内变化

为了解西藏地区积雪深度与积雪日数的年内变化,对西藏地区 34 个站点 1979 年 3~2012 年 3 月的月累积积雪深度和月累积积雪日数分别作时间平均和区域平均,所得结果为 3 月的月累积积雪深度与积雪日数值。同理,计算出 3 月~次年 2 月的月累积积雪深度和月累积积雪日数值,即可得积雪深度与积雪日数的年内变化趋势图,如图 1 所示。



(a) 积雪深度的年内变化图



(b) 积雪日数的年内变化图

图 1 西藏积雪深度的年内变化图和积雪日数的年内变化图

1979~2012 年西藏地区 3 月~次年 2 月月累积积雪深度和积雪日数的年内变化比较一致,两者的相关系数达到 0.95,通过 0.01 置信度的相关系数 t 检验。

从图 1(a)可以看出,西藏高原 3~7 月积雪深度呈减小的趋势,7 月~次年 2 月呈增加的趋势。2 月积雪深度值最大,达到 87.51 cm,7 月则最小,仅有 0.17 cm。冬季积雪深度达到最大值,为 214.70 cm,其

次是春季,为 92.54 cm,秋季较少,为 40.87 cm,夏季最少,只有 2.86 cm。

从图 1(b)可以看出,从 3~7 月西藏地区积雪日数为减小的趋势,7、8 月积雪日数达到最小值,为 0.08 天。从 9 月~次年 1 月,西藏地区积雪日数为增加的趋势,1 月积雪日数达到最大值,为 11.30 天。2 月积雪日数开始减小。冬季积雪日数最多,平均为 29.31 天,其次为春季,为 20.14 天,秋季较少,为 9.3 天,最少的为夏季,0.76 天,不足一天。

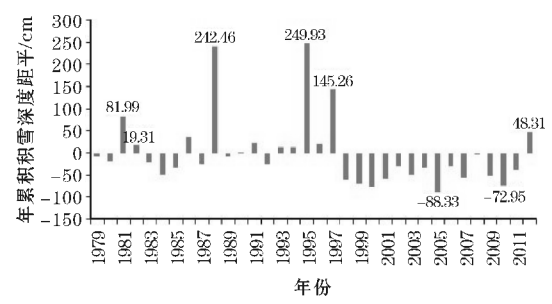
2 月平均积雪深度值最大,但积雪日数却比 1 月少,有可能是因为 2 月温度较 1 月低,积雪不易融化,也可能是由于 1 月积雪并未完全融化因而使得 2 月积雪更大。

2.2 西藏积雪深度与积雪日数的年际变化

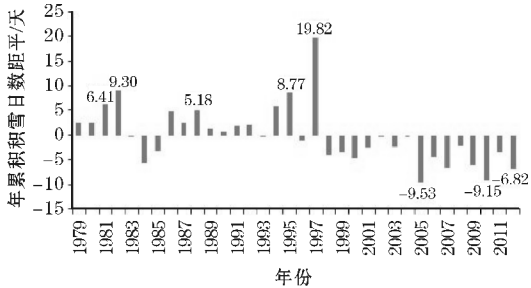
对西藏地区 1979~2012 年 34 个观测站点的年累积积雪深度与积雪日数作区域平均,则为西藏地区年累积积雪深度与积雪日数的年际变化。同理,对 1979~2012 年西藏地区 34 个站的季累积积雪深度与季累积积雪日数作区域平均,则为西藏季累积积雪深度与积雪日数的年际变化。对积雪年和季节的划分如下:3 月~次年 2 月为一个积雪年。3、4、5 月为春季,6、7、8 月为夏季,9、10、11 月为秋季,12 月及次年 1 月和 2 月为当年的冬季。即 1979 年 3 月~1980 年 2 月累积积雪深度和积雪日数为 1979 年的年累积积雪深度和积雪日数,1979 年 3~5 月的累积积雪深度和积雪日数为 1979 年春季累积积雪深度和积雪日数,1979 年 6~8 月的累积积雪深度和积雪日数为 1979 年夏季累积积雪深度和积雪日数,1979 年 9~11 月的累积积雪深度和积雪日数为 1979 年秋季累积积雪深度和积雪日数,1979 年 12 月~1980 年 2 月的累积积雪深度和积雪日数为 1979 年冬季累积积雪深度和积雪日数。以此类推。

2.2.1 西藏年累积积雪深度与积雪日数的年际变化

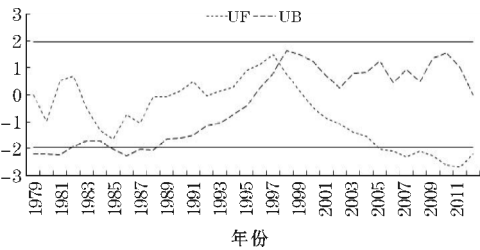
图 2 为西藏地区年累积积雪深度距平和年累积积雪日数距平的年际变化及其 M-K 检验图。



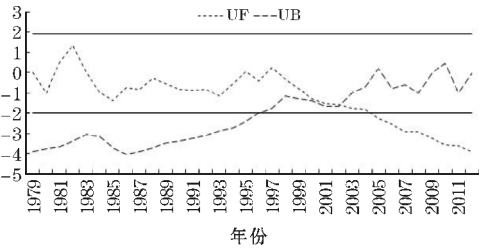
(a) 年累积积雪深度距平的年际变化



(b) 年累积积雪日数距平的年际变化



(c) 年累积积雪深度距平的 M-K 检验图



(d) 年累积积雪日数距平的 M-K 检验图

图 2 西藏年累积积雪深度距平的年际变化及其 M-K 检验和
年累积积雪日数距平的年际变化及其 M-K 检验图

1979 ~ 2012 年西藏地区年累积积雪深度与积雪日数都呈现出减小的趋势。西藏年累积积雪深度距平与年累积积雪日数距平的年际变化基本一致,两者的相关系数达到 0.70,通过 0.01 置信度的相关系数 t 检验。总体来说,积雪日数较多的年份积雪深度也较大,相反,积雪日数较少的年份,积雪深度也较少。年累积积雪深度距平和积雪日数距平的 M-K 检验结果表明,年累积积雪深度在 1997 年发生突变而年累积积雪日数在 2002 年左右发生突变。从图 2 可以看到,1997 年前大多数年份的年累积积雪深度和年累积积雪日数为正距平,1997 年后基本上为负距平。但是,并不是积雪日数最多的年份积雪深度值就最大,同样的,积雪深度值最大的年份也并不一定积雪日数最多。因为积雪深度不仅与积雪日数有显著的正相关关系还与降雪量有关。在积雪日数较少的年份,如果降雪量足够大,积雪深度值也比较大,相反,在积雪日数较多的年份,如果降雪量较小,积雪深度的值并不一定很大。1995 年积雪深度距平值最大,达到 249.93 cm,1988 年积雪深度距平值也达到 242.46 cm,但是 1988 年和 1995 年的积雪日数距平值并不大,分别为 5.18 天、8.77 天。

1997 年积雪日数距平值最大,19.82 天,积雪深度距平值为 145.26 cm,仅为 1995 年积雪深度距平值的 58.12 %,1988 年积雪深度距平值的 59.91 %。表明 1995 年和 1988 年的降雪量较平常年份偏大,1997 年的降雪天数较常年偏多。积雪深度距平值最小的年份为 2005 年,为 -88.33 cm,积雪日数距平值也最小,为 -9.53 天,表明 2005 年为异常少雪年。2010 年积雪日数距平值为 -9.15 天,积雪深度距平值为 -72.95 cm,同样为少雪年。

2.2.2 西藏季累积积雪深度与积雪日数的年际变化

图 3 为西藏春、夏、秋、冬季累积积雪深度距平与积雪日数距平的年际变化图,图 4 为西藏春、夏、秋、冬季累积积雪深度距平年际变化与积雪日数距平年际变化的 M-K 检验图。

1979 ~ 2012 年青藏高原春季累积积雪深度距平和积雪日数距平的相关系数为 0.57,通过 0.01 置信度的相关系数 t 检验。1979 ~ 2012 年西藏地区春季累积积雪深度和积雪日数整体呈减小趋势。对春季累积积雪深度距平和积雪日数距平的 M-K 检验结果表明(图 4a,4b):西藏春季累积积雪深度在 2002 年、2005 年和 2007 年发生突变,而积雪日数在 2003 年发生突变。

从图 3(a)、3(b)可以看出,1996 年春季累积积雪深度距平值最大,为 65.23 cm,春季累积积雪日数距平为 1.09 天;1982 年春季累积积雪深度距平值为 35.56 cm,春季累积积雪日数距平为 2.74 天;1983 年春季累积积雪日数距平值最大为 3.53 天,春季累积积雪深度距平值为 20.05 cm。表明 1996 年、1982 年和 1983 年春季多雪。2010 年春季累积积雪深度距平值最小为 -20.44 cm,积雪日数距平为 -3.17 天;1984 年春季累积积雪深度距平值为 -20.27 cm,积雪日数距平为 -3.38 天,为春季积雪日数最小值;2004 年春季累积积雪深度距平值为 -20.12 cm,春季累积积雪日数距平为 -3.02 天;1999 年积雪深度距平值为 -20.00 cm,积雪日数距平值为 -2.97 天。表明 2010 年、1984 年、2004 年、1999 年春季少雪。1989 年积雪深度距平值为 30.35 cm,积雪日数距平为 -0.14 天,表明 1989 年积雪日数较常年略微偏少,但降雪量较常年偏大。

1979 ~ 2012 年青藏高原夏季累积积雪深度和积雪日数的相关系数为 0.30,两者的相关性没有通过 0.05 置信度检验,表明两者并不显著相关。对夏季累积积雪深度距平和积雪日数距平的 M-K 检验结果表明(图 4c,4d):西藏夏季累积积雪深度在 1988 年发生了突变,积雪日数在 1986 年、1990 ~ 1991 年、1997 年发生了突变。

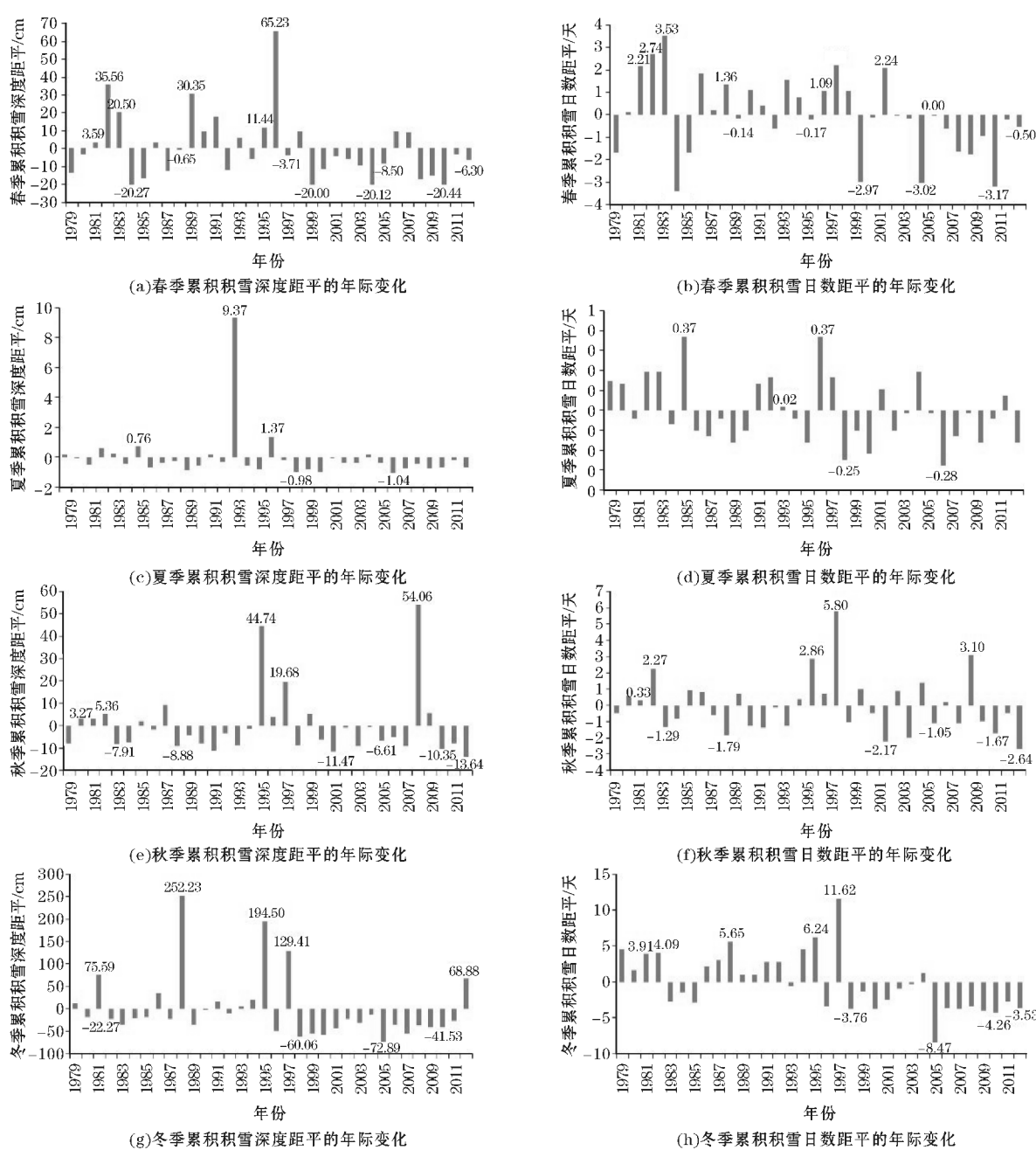


图3 西藏春、夏、秋、冬季累积积雪深度距平的年际变化和累积积雪日数距平的年际变化图

从图3(c)、3(d)可以看出,1979~2012年夏季累积积雪深度和积雪日数整体呈减少趋势,夏季温度高,不易形成降雪,且降雪后积雪很快融化,不易形成积雪。所以夏季的积雪深度和积雪日数值都极小,积雪日数距平绝对值小于1天,积雪深度距平绝对值一般小于1,仅1993年和1996年距平值大于1 cm,分别为9.37 cm、1.37 cm,2006年夏季累积积雪日数距平值最小,为-1.04天。1985年和1996年积雪日数距平值最大,为0.37天,2006年积雪日数距平值最小,为-0.28天,积雪深度距平值也为最小值。

1979~2012年西藏高原秋季累积积雪深度和积雪日数的相关系数为0.75,通过0.01置信度的相关系

数 t 检验。对秋季累积积雪深度距平和积雪日数距平的M-K检验结果表明(图4e、4f):西藏秋季累积积雪深度在1990年、1993年和2011年发生突变,积雪日数在1987年、1993年、2011年发生突变。

从图3(e)、3(f)可以看出,1979~2012年秋季累积积雪深度和积雪日数有减小的趋势,但变化趋势不明显。2008年秋季积雪深度距平值最大,为54.06 cm,积雪日数距平为3.10天;1995年积雪深度距平为44.74 cm,积雪日数距平为2.86天;1997年积雪深度距平为19.68 cm,积雪日数距平为5.80天,为秋季最大积雪日数。表明2008年、1995年、1997年秋季多雪。2012年积雪深度距平值最小,为-13.64 cm,积

雪日数距平为-2.64天,也为最小值;2001 年积雪深度距平值为-11.47 cm,积雪日数距平值为-2.17 天,

2010 年积雪深度距平为-10.35 cm,积雪日数距平为-1.67天。表明 2012 年、2001 年、2010 年秋季少雪。

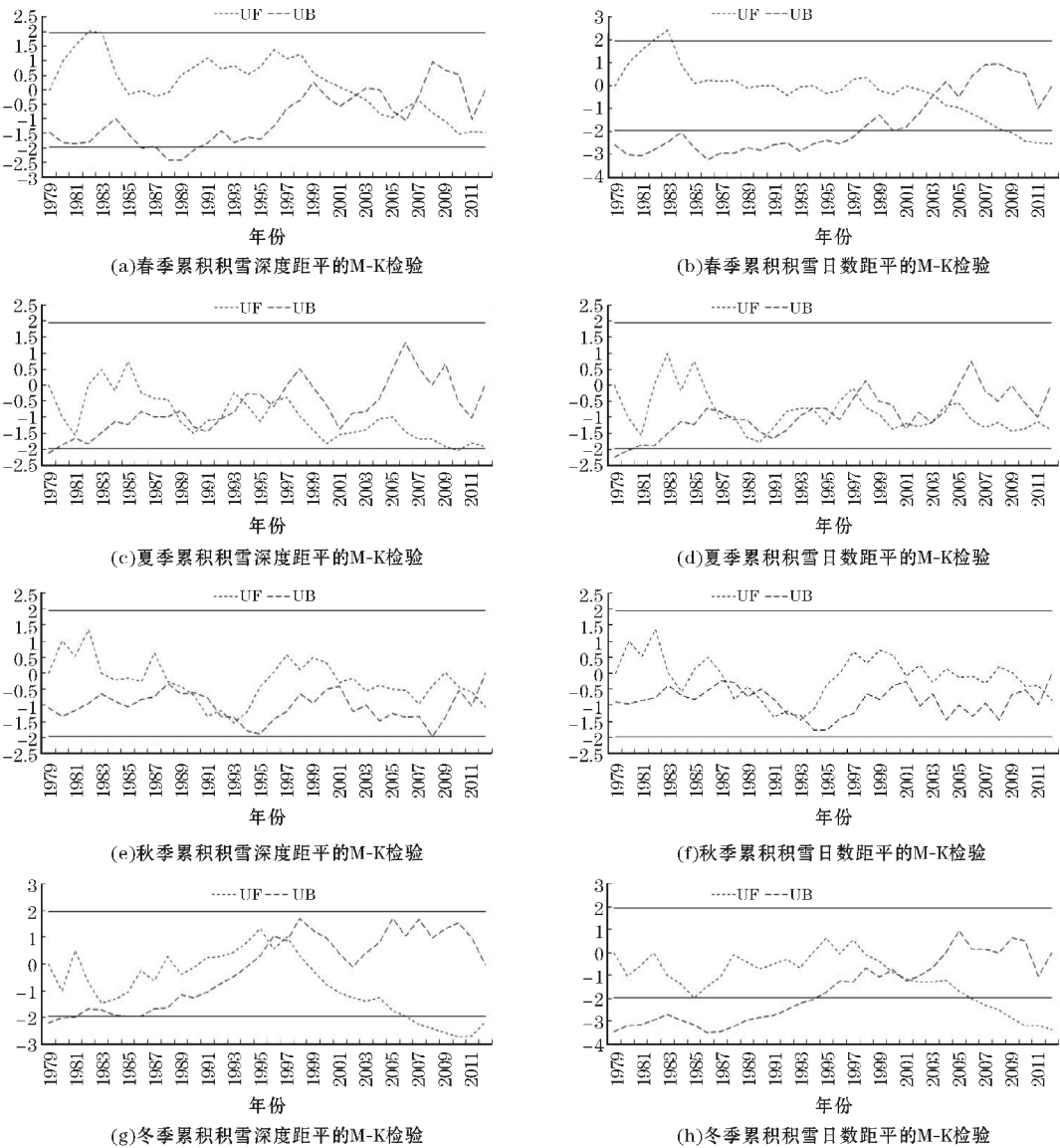


图 4 西藏春、夏、秋、冬季累积积雪深度距平年际变化的 M-K 检验和累积积雪日数距平年际变化的 M-K 检验图

1979 ~2012 年青藏高原冬季累积积雪深度和积雪日数的相关系数为0.70,通过0.01置信度的相关系数 t 检验。对冬季累积积雪深度距平和积雪日数距平的 M-K 检验结果表明(图 4g、4h):西藏冬季累积积雪深度在 1995 ~1997 年发生突变,积雪日数在 2000 ~2001 年发生突变。

西藏高原冬季积雪深度值最大,积雪日数也最多,一年中大部分积雪都集中在冬季,所以西藏冬季累积积雪深度和积雪日数与西藏年累积积雪深度和积雪日数的变化基本一致。

3 西藏积雪的空间分布特征

西藏地区积雪的空间分布特征,主要包括年累积积雪深度与年累积积雪日数的空间分布特征以及春、夏、秋、冬 4 个季节的季累积积雪深度与季累积积雪日数的空间分布特征。

3.1 年累积积雪的空间分布特征

对 1979 ~2012 年西藏地区 34 个站点的年累积积雪深度作时间平均,所得结果即可绘成西藏年累积积雪深度的空间分布图(图 5a)。同样的,对 1979 ~2012 年西藏地区 34 个站点的年累积积雪日数作时间平均,即可得西藏年累积积雪日数的空间分布图(图 5b)。

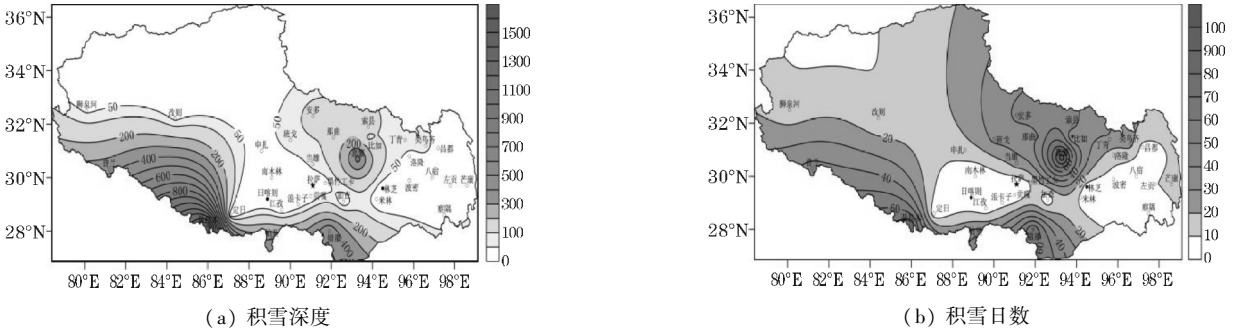


图5 西藏年累积积雪深度和积雪日数的空间分布图

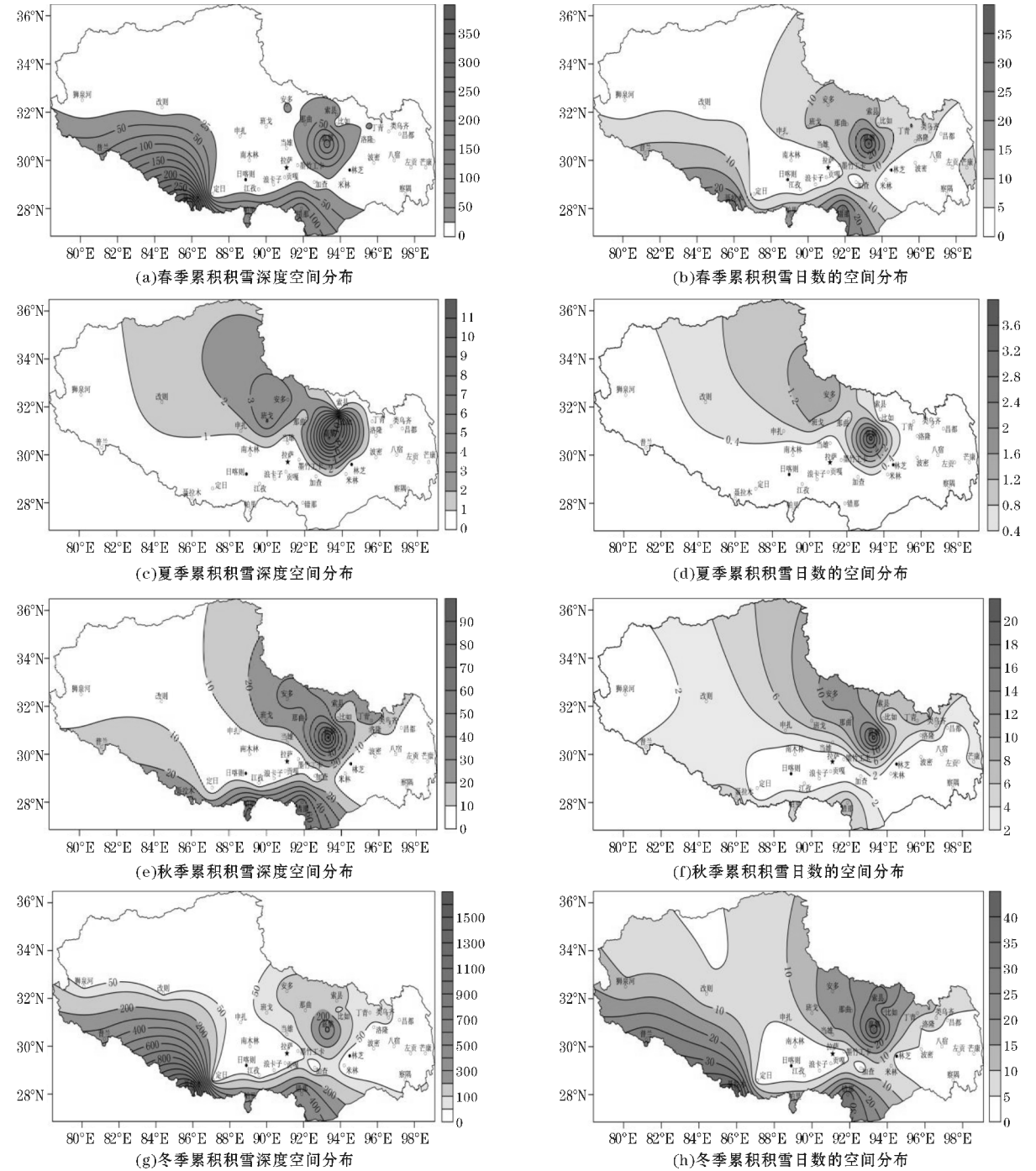


图6 西藏春、夏、秋、冬季累积积雪深度和季累积积雪日数的空间分布图

从图 5 可以看出,年累积积雪深度和积雪日数的分布比较相似。在积雪日数大值区积雪深度值也较大。年累积积雪日数和积雪深度有 3 个大值区:以聂拉木为中心的喜马拉雅山脉中段地区,中心站点聂拉木的年累积积雪日数达到 76 天,年累积积雪深度值达到 1502 cm;以错那为中心的喜马拉雅山脉东段区,中心站点错那的年累积积雪日数达到 70 天,年累积积雪深度值达到 500 cm;以嘉黎为中心的那曲地区中、东部地区,中心站点嘉黎的年累积积雪日数达到 98 天,年累积积雪深度值达到 441 cm。阿里地区北部、昌都地区、林芝地区以及雅鲁藏布江河谷地区为积雪低值区,年累积积雪日数不足 10 天,年累积积雪深度低于 50 cm。

3.2 季累积积雪的空间分布特征

对 1979 ~ 2012 年西藏地区 34 个站点春、夏、秋、冬 4 个季节的季累积积雪深度和季累积积雪日数分别作时间平均,即西藏春、夏、秋、冬 4 个季节的季累积积雪深度和季累积积雪日数的空间分布图,如图 6 所示。

从图 6(a)、6(b)可以看出,春季累积积雪深度和积雪日数与年累积积雪深度和积雪日数分布一致,有 3 个大值区:以聂拉木为中心的喜马拉雅山脉中段地区,中心站点聂拉木的春季累积积雪日数达到 27 天,春季累积积雪深度值达到 370 cm;以错那为中心的喜马拉雅山脉东段区,中心站点错那的春季累积积雪日数达到 29 天,春季累积积雪深度值达到 125 cm;以嘉黎为中心的那曲地区中、东部地区,中心站点嘉黎的春季累积积雪日数达到 35 天,春季累积积雪深度值达到 145 cm。阿里地区北部、昌都地区、林芝地区以及雅鲁藏布江河谷地区为积雪低值区,春季累积积雪日数不足 5 天,春季累积积雪深度值低于 25 cm。

从图 6(c)、6(d)可以看出,夏季积雪主要分布在那曲地区和阿里地区北部,以嘉黎为中心的那曲地区积雪最多,夏季累积积雪日数达到 3 天,夏季累积积雪深度值达到 11 cm;以安多、班戈为中心的阿里地区北部地区,夏季累积积雪日数达到 2 天,夏季累积积雪深度值达到 4 cm。

从图 6(e)、6(f)可以看出,秋季积雪 3 个大值区与年累积积雪 3 个大值区一致,但是秋季累积积雪日

数和积雪深度最大值中心在以嘉黎为中心的那曲地区,秋季累积积雪日数达到 19 天,秋季累积积雪深度值达到 93 cm;其次为以错那为中心的喜马拉雅山脉东段区,秋季累积积雪日数达到 7 天,秋季累积积雪深度值达到 68 cm;以聂拉木为中心的喜马拉雅山脉中段地区秋季积雪比春季和冬季少得多,秋季累积积雪日数为 5 天,秋季累积积雪深度值为 30 cm。

从图 6(g)、6(h)可以看出,冬季累积积雪深度和积雪日数与年累积积雪深度和积雪日数分布一致,有 3 个大值区:以聂拉木为中心的喜马拉雅山中段地区,中心站点聂拉木的冬季累积积雪日数达到 44 天,冬季累积积雪深度值达到 1102 cm;以错那为中心的喜马拉雅山脉东段区,中心站点错那的冬季累积积雪日数达到 34 天,冬季累积积雪深度值达到 307 cm;以嘉黎为中心的那曲地区中、东部,中心站点嘉黎的冬季累积积雪日数达到 40 天,冬季累积积雪深度值达到 192 cm。阿里地区北部、昌都地区、林芝地区以及雅鲁藏布江河谷地区为积雪低值区,冬季累积积雪日数不足 5 天,冬季累积积雪深度值低于 50 cm。

4 用 EOF 分析方法揭示的西藏高原积雪的时空分布特征

为进一步了解西藏地区积雪的时空分布特征,对 1979 ~ 2012 年西藏地区 34 个站点的年累积积雪深度与年累积积雪日数作 EOF 展开,根据展开结果,对其揭示的主要特征做出简要分析。

4.1 年累积积雪深度的 EOF 展开结果

表 1 为年累积积雪深度 EOF 展开的前 3 个模态的结果。前 3 个模态的累积方差贡献达到 45.58 %,包含了西藏高原积雪场的主要信息。

表 1 年累积积雪深度 EOF 展开结果

序号	奇异值	方差贡献	累积方差贡献
		百分比/%	百分比/%
1	7.75	22.78	22.78
2	4.11	12.08	34.86
3	3.65	10.72	45.58

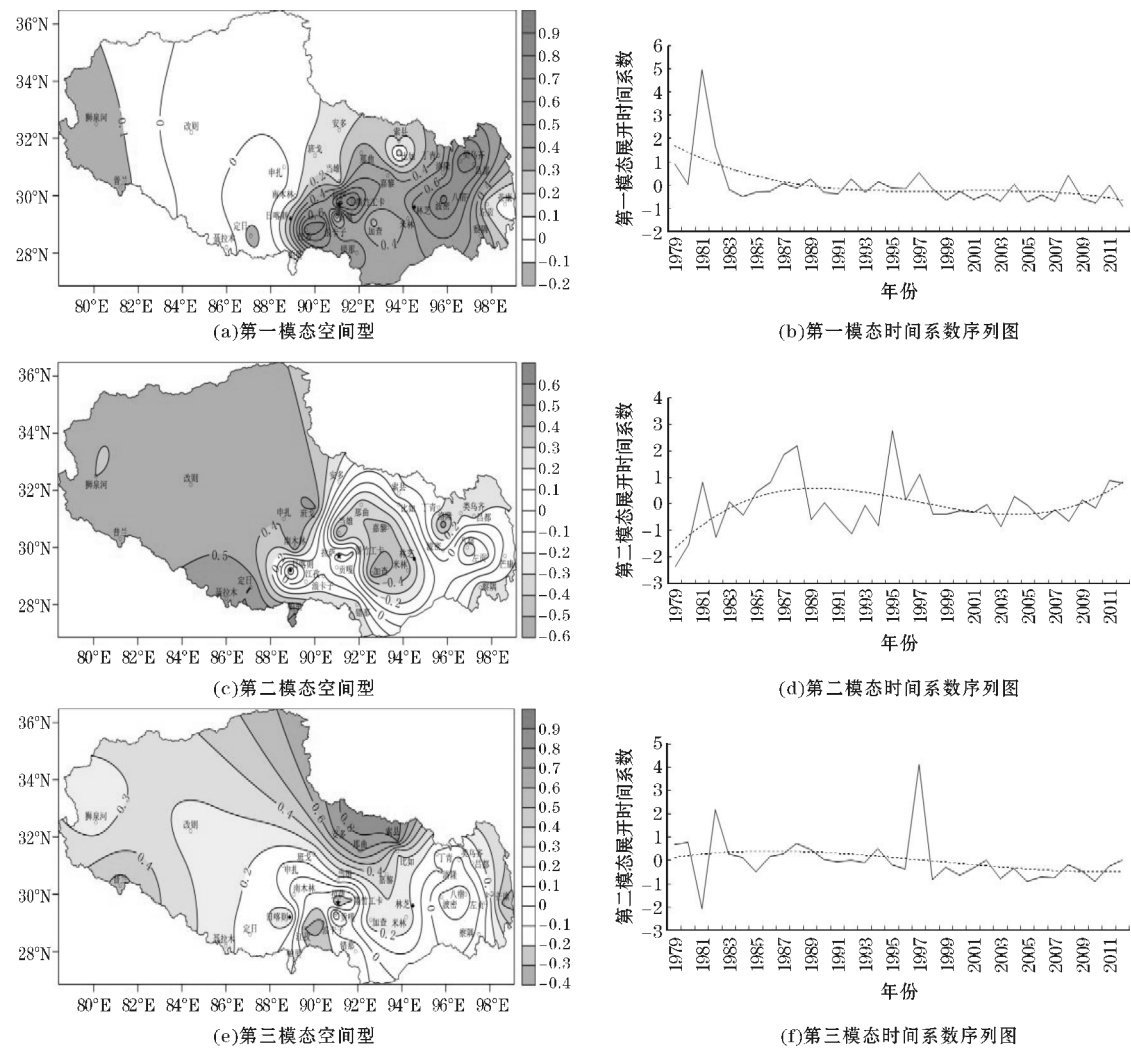


图 7 西藏年累积积雪深度标准化距平场 EOF 展开前三模态空间型和时间系数序列图

从图 7(a)、7(b) 可以看出,年累积积雪深度 EOF 分解第一模态展开时间系数整体上呈减小的趋势,在 1997 年以前,大多数年份的时间系数为正值,1997 年以后大多数年份为负值。时间系数为正值的年份称为正位相年,时间系数为负值的年份称为负位相年。第一模态空间分布图中除了西部的狮泉河、普兰、定日、申扎这几个站点为弱的负距平外,其余地区为一致的正距平。在正位相年,西藏大部分地区年累积积雪深度为正距平,年累积积雪深度显著增加。负位相年,西藏大部分地区年累积积雪深度为负距平,年累积积雪深度显著减小。结合时间系数的变化,可以得出结论,1979~2012 年西藏大部分地区年累积积雪深度呈现出减小的趋势。

从图 7(c)、7(d) 可以看出,第二模态展开时间系数呈多波动的分布形势,1981 年、1988 年、1995 年和 1997 年的时间系数为极大值。正位相年,西藏西部地区为正距平,距平值达到 0.6 以上,东部地区为负距平,尤其是东部腹地达到了 -0.5,表明在在位相年,西部

地区年累积积雪深度显著增加,东部地区年累积积雪深度减少,尤其是东部腹地年累积积雪深度减小较明显。由于 1981 年、1988 年、1995 年和 1997 年的时间系数为极大值,在这几年里年累积积雪深度西部增加东部减小的变化更加显著。从图 2(a) 可以知道,1981 年、1988 年、1995 年和 1997 年的年累积积雪深度值较大,说明这几年年累积积雪深度值偏大的原因是西藏西部地区年累积积雪深度值异常增大造成的。负位相年,西藏西部地区年累积积雪深度减小,东部地区年累积积雪深度增加,尤其是东部腹地年累积积雪深度增加明显。

从图 7(e)、7(f) 可以看出,第三模态时间系数为减小的趋势,1997 年时间系数值为最大,1997 年以后,大多数年份时间系数为负值。正位相年,第三模态空间分布图西部地区 and 那曲地区为正距平,尤其是那曲地区距平值达到了 0.9,西藏东南部地区为负距平,距平绝对值较小,最大仅为 0.4。表明正位相年,西部地区 and 那曲地区年累积积雪深度值增大,尤其是那曲地

区年累积积雪深度值显著增加,1997 年那曲地区年累积积雪深度增加异常显著,西藏东南部地区年累积积雪深度有所减少;负位相年,西部地区和那曲地区年累积积雪深度值减小,那曲地区年累积积雪深度减小明显,西藏东南部地区年累积积雪深度值有所增加。

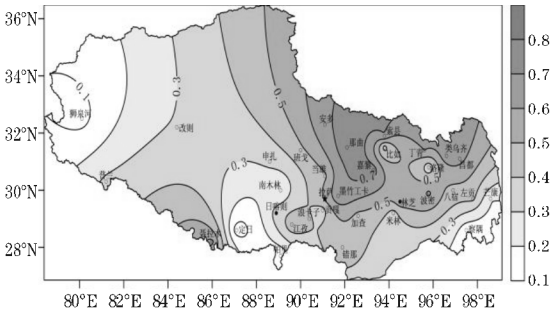
4.2 年累积积雪日数的 EOF 展开结果

表 2 为青藏高原年累积积雪日数 EOF 展开前三模态的结果。前三模态的累积方差贡献达到45.91 % ,

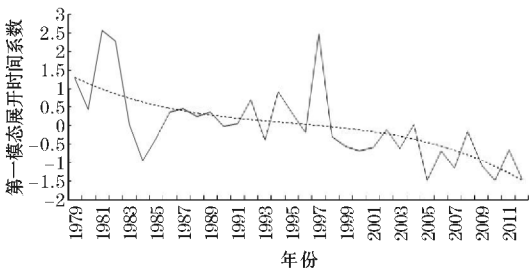
包含西藏年累积积雪日数场的主要信息。

表 2 年累积积雪日数 EOF 展开结果

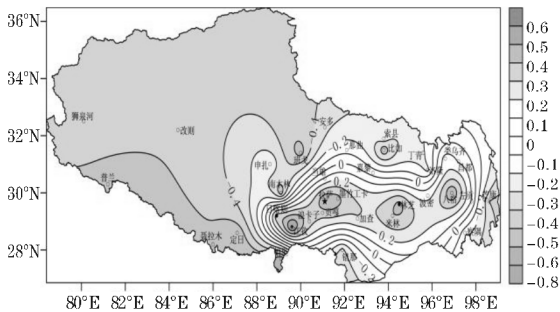
序号	奇异值	方差贡献 百分比/%	累积方差贡献 百分比/%
1	7.85	23.07	23.07
2	5.02	14.77	37.84
3	2.96	8.70	45.91



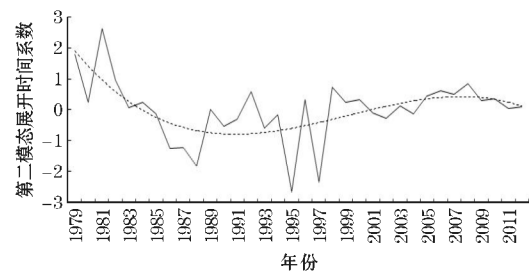
(a)第一模态空间型



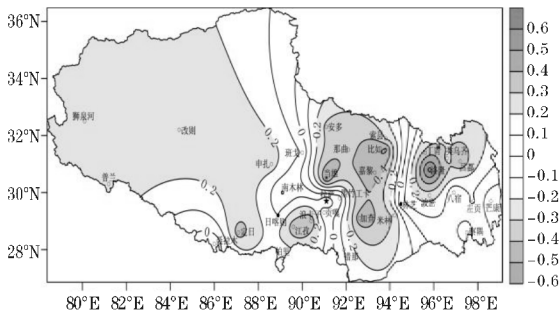
(b)第一模态时间系数序列图



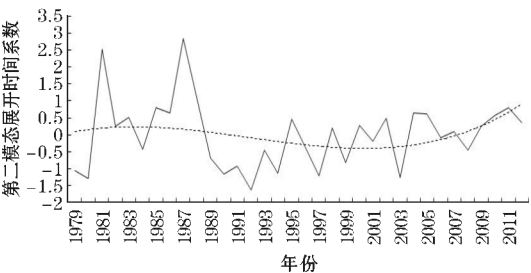
(c)第二模态空间型



(d)第二模态时间系数序列图



(e)第三模态空间型



(f)第三模态时间系数序列图

图 8 西藏年累积积雪日数标准化距平场 EOF 展开前三模态空间型和时间系数序列图

青藏高原年累积积雪日数 EOF 分解第一模态和第二模态的空间型与时间系数序列图基本一致。

从图 8(a)、8(b)可以看出,年累积积雪日数 EOF 分解第一模态展开时间系数整体上呈减小的趋势,1981 年、1982 年、1997 年的第一模态展开时间系数值异常偏大,1984 年、2005 年和 2010 年的值异常偏小。第一模态空间分布图为全区一致的距平分布形势,尤其是那曲地区距平绝对值达到 0.8 以上。在正位相

年,西藏全区年累积积雪日数为正距平,年累积积雪日数增加,尤其是那曲地区年累积积雪日数增加明显。1981 年、1982 年、1997 年的第一模态展开时间系数值异常偏大,所以这几年西藏地区的年累积积雪日数也异常偏大,与图 2(b)所得结论一致。负位相年,西藏全区年累积积雪日数为负距平,年累积积雪日数减小,尤其是那曲地区年累积积雪日数减小明显。1984 年、2005 年和 2010 年的值异常偏小,说明这几年西藏地

区的年累积积雪日数也异常偏小,与图2(b)所得结论一致。

从图8(c)、8(d)可以看出,第二模态展开时间系数呈多波动的分布形势。正位相年,西藏西部地区为负距平,距平绝对值达到0.7以上,东部地区基本为正距平,尤其是东部腹地达到了0.6以上。表明在正位相年(负位相年),西部地区年累积积雪日数显著减少(增加),东部腹地年累积积雪日数显著增加(减少)。

从图8(e)、8(f)可以看出,第三模态,正位相年,西藏地区年累积积雪日数距平从西到东呈正-负-正的分布形势,则西藏地区年累积积雪日数从西到东的变化趋势为增加-减少-增加。负位相年,西藏地区年累积积雪日数距平从西到东呈负-正-负的分布形势,西藏地区年累积积雪日数从西到东为增加-减小-增加的变化趋势。

4 结论

(1)西藏地区积雪深度和积雪日数年内变化显著相关。积雪深度在2月达最大值,7月为最小值;积雪日数在1月达最大值,7、8月为最小值。冬季积雪深度和积雪日数值最大,其次为春季,秋季较少,最少的为夏季。

(2)西藏年累积积雪深度与积雪日数显著相关,两者都呈减小的趋势。年累积积雪深度在1997年发生突变,年累积积雪日数在2002年左右发生突变。1995年和1988年降雪量较平常年份异常偏大,1997年降雪天数较常年异常偏多。2005年为异常少雪年,2010年也为少雪年。

(3)青藏高原春季、秋季、冬季累积积雪深度距平和积雪日数距平都显著相关,夏季相关性不高。西藏高原春季、夏季、秋季、冬季累积积雪深度和积雪日数整体都呈减小趋势。西藏春季累积积雪深度在2002年、2005年和2007年发生突变,积雪日数在2003年发生突变;夏季累积积雪深度在1988年发生了突变,积雪日数在1986年、1990~1991年、1997年发生突变;秋季累积积雪深度在1990年、1993年和2011年发生突变,积雪日数在1987年、1993年、2011年发生突变;冬季累积积雪深度在1995~1997年发生了突变,积雪日数在2000~2001年发生突变。

(4)年累积积雪日数和积雪深度有3个大值区:最大值中心为以聂拉木为中心的喜马拉雅山脉中段地区;其次为以错那为中心的喜马拉雅山脉东段区;以嘉黎为中心的那曲地区中、东部地区。阿里地区北部、昌都地区、林芝地区以及雅鲁藏布江河谷地区为积雪低

值区。

(5)春季、秋季、冬季累积积雪深度和积雪日数与年累积积雪深度和积雪日数分布一致,但秋季累积积雪日数和积雪深度最大值中心在以嘉黎为中心的那曲地区。夏季积雪主要分布在那曲地区 and 阿里地区北部

(6)年累积积雪深度 EOF 分解第一模态正(负)位相年,西藏大部分地区年累积积雪深度显著增加(减小)。1979~2012年西藏大部分地区年累积积雪深度呈现出减小的趋势;第二模态正(负)位相年,西部地区年累积积雪深度显著增加(减小),东部地区年累积积雪深度减少(增加),尤其是东部腹地年累积积雪深度减小(增加)较明显。第三模态正(负)位相年,西部地区和那曲地区年累积积雪深度值增大(减小),尤其是那曲地区年累积积雪深度值显著增加(减小),西藏东南部地区年累积积雪深度有所减少(增加)。

(7)青藏高原年累积积雪日数 EOF 分解第一模态和第二模态的空间型与时间系数序列图基本一致。第三模态,正(负)位相年,西藏地区年累积积雪日数从西到东的变化趋势为增加-减少-增加(减少-增加-减少)。

参考文献:

- [1] 刘华强,孙照渤,朱伟军. 青藏高原积雪与亚洲季风环流年代际变化的关系[J]. 南京气象学院学报,2003,26(6):733-739.
- [2] 郑益群,钱永甫,苗曼倩. 青藏高原积雪对中国夏季风气候的影响[J]. 大气科学,2000,24(6):761-774.
- [3] 朱玉祥,丁一汇. 青藏高原积雪对气候影响的研究进展和问题[J]. 气象科技,2007,35(1):1-8.
- [4] 徐国昌,李珊,洪波. 青藏高原雪盖异常对我国环流和降水的影响[J]. 应用气象学报,1994,5(1):62-67.
- [5] 朱玉祥,丁一汇,刘海文. 青藏高原冬季积雪影响我国夏季降水的模拟研究[J]. 大气科学,2009,33(5):903-915.
- [6] 陈乾金,高波,李维京,等. 青藏高原冬季积雪异常和长江中下游主汛期旱涝及其与环流关系的研究[J]. 气象学报,2000,58(5):582-595.
- [7] 陶亦为,孙照渤,李维京,等. ENSO与青藏高原积雪的关系及其对我国夏季降水异常的影响[J]. 气象,2011,37(8):919-928.
- [8] 巴桑,杨秀海,拉珍,等. 基于多源数据的西藏地区积雪变化趋势分析[J]. 冰川冻土,2012,34

- (5):1023-1030.
- [9] 白淑英,史建桥,沈渭寿,等.近30年西藏雪深时空变化及其对气候变化的响应[J].国土资源遥感,2014,26(1):144-151.
- [10] 白淑英,史建桥,沈渭寿,等.卫星遥感西藏高原积雪时空变化及影响因子分析[J].遥感技术与应用,2014,29(6):954-962.
- [11] 唐小萍,闫小利,尼玛吉,等.青藏高原近40年积雪日数变化特征分析[J].地理学报,2012,67(7):951-959.
- [12] 于金媛,朗卡旺青,加永泽巴,等.西藏墨竹工卡积雪时空分布特征分析[J].安徽农业科学,2014,42(30):10602-10603.
- [13] 黄晓清,杨勇,石磊.青藏高原不同时段雪灾的空间分布及大气环流特征[J].中国沙漠,2013,33(2):396-402.
- [14] 假拉,普布卓玛.青藏高原雪灾气候规律[J].西藏科技,1995,(1).
- [15] 韦志刚,吕世华.青藏高原积雪的分布特征及其对地面反照率的影响[J].高原气象,1995,14(1):67-73.
- [16] 柯长青,李培基.青藏高原积雪分布与变化特征[J].地理学报,1998,53(3):209-215.
- [17] 孙秀忠,罗勇,张霞,等.近46年来我国降雪变化特征分析[J].高原气象,2010,29(6):1594-1601.
- [18] 李培基.中国西部积雪变化特征[J].地理学报,1993,48(6):505-515.
- [19] 郭其蕴,王继琴.青藏高原的积雪及其对东亚季风的影响[J].高原气象,1986,5(2):116-124.
- [20] 韦志刚,黄荣辉,陈文,等.青藏高原地面站积雪的空间分布和年代际变化特征[J].大气科学,2002,26(4):496-508.
- [21] 胡豪然,梁玲.近50年青藏高原东部冬季积雪的时空变化特征[J].地理学报,2013,68(11):1493-1503.
- [22] 胡豪然,梁玲.近50年青藏高原东部降雪的时空演变[J].地理学报,2014,69(7):1002-1012.
- [23] 徐兴奎,陈红,周广庆.青藏高原地表特征时空分布[J].气候与环境研究,2005,10(3):409-420.

Spatial Distribution Characteristic and Time Evolution Rule of Snow in Tibet

ZHOU Xiao-li¹, JIA La², XIAO Tian-gui¹

(1. College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. Meteorological Observatory of Tibet Autonomous Region, Lhasa 850000, China)

Abstract: In order to understand spatial distribution characteristic and time evolution rule of snow in Tibet, this paper systematically analyzed the daily snow depth and snow cover days data at 34 meteorological stations in Tibet during 1979-2013, by using the methods of statistical analysis and EOF. Main conclusions are as follows: (1) snow depth reaches the maximum value in February and reaches the minimum value in July; snow coverage days reaches the maximum value in January and reaches the minimum value in July and August. (2) The accumulated snow depth and snow coverage days shows a decreasing tendency in Tibetan year, spring, summer, autumn and winter. (3) There were 3 high-frequency center areas of accumulated snow depth and snow coverage days in one year: the middle Himalayas area, the eastern Himalayas area and the middle and eastern Naqu area.

Key words: meteorology; plateau meteorology; Tibet; snow; EOF; time evolution; spatial distribution