

# 近 45 年拉萨深层地温变化趋势分析<sup>\* 1</sup>

杜 军<sup>1)</sup> 胡 军<sup>2)</sup> 杨 勇<sup>1)</sup> 拉 巴<sup>1)</sup> 路红亚<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(西藏自治区气候中心,拉萨 850001)

<sup>2)</sup>(拉萨市气象局,拉萨 850001)

## 摘 要

利用 1961—2005 年拉萨 0.8 m, 1.6 m 和 3.2 m 逐月平均地温,采用气候倾向率、累积距平、信噪比等气候诊断方法,分析了近 45 年拉萨深层平均地温的变化趋势,以及异常、突变等气候特征。结果表明:近 45 年拉萨 0.8 m 和 1.6 m 年平均地温呈极显著的增温趋势,倾向率为(0.58~0.69 °C)/10a;0.8 m 和 1.6 m 平均地温倾向率春季最大,秋季最小;3.2 m 平均地温却以夏季升幅最大,冬季最小;与同时期平均气温的增温幅度比较,地温增幅更大;20 世纪 60—90 年代 0.8 m 和 1.6 m 年平均地温呈明显的逐年代升高趋势;季平均地温 20 世纪 60—70 年代均偏低,80 年代大部分季节仍略偏低,90 年代都表现为正距平;0.8 m, 1.6 m 和 3.2 m 年平均地温均在 1999 年出现了异常偏暖,异常偏冷现象仅发生在 1.6 m 土层上,时间为 1963 年;夏季深层平均地温异常偏暖均发生在 1999 年;冬季 0.8 m 和 1.6 m 平均地温多异常偏冷年份,主要发生在 20 世纪 60 年代;1999, 2002—2005 年冬季 3.2 m 平均地温异常偏暖;夏、秋季和年平均地温的气候突变都出现在 1986 年,冬、春季发生在 1983 年。

关键词:拉萨;地温;倾向率;异常年份;气候突变

## 引 言

在地球气候系统各组分之间相互作用过程中,陆-气相互作用是一个十分重要的部分。而在陆-气相互作用中,地面反照率、土壤温度和湿度对大气环流和气候变化有重要影响<sup>[1]</sup>。数值模拟研究表明<sup>[2]</sup>,土壤温度等地表状况的变化对大气环流有很大影响。近来不少学者对地温的气候变化进行了研究,分布在前苏联季节冻土和多年冻土区气象站的地温观测结果发现,绝大多数气象站 0.4 m, 0.8 m, 1.6 m 和 3.2 m 深度上的年平均地温在近一个世纪以来都呈升高趋势<sup>[3]</sup>;瑞士阿尔卑斯山地表以下 10 m 范围内的多年冻土层温度,自 20 世纪 80 年代以来以(0.5~1.0 °C)/10a 的速率在升高<sup>[4]</sup>;横穿阿拉斯加南北方向的多年冻土测温结果表明,从 20 世纪 80 年代后期到 1996 年间多年冻土上限处的温度升高了 0.5~1.5 °C<sup>[5]</sup>。青藏高原南火山一带多年冻土 15 m 深度处的温度在 20 世纪 60—90 年代期间升高了 0.2~0.3 °C<sup>[6]</sup>;青藏铁路北部和南部地面温度的线性升温率较大,特别是青藏铁路南

部的升温率平均达到 0.56 °C/10a,铁路中部的线性升温率较小,平均为 0.34 °C/10a<sup>[7]</sup>;我国大兴安岭阿木尔地区的多年冻土在 70—90 年代期间 20 cm 深度处的地温上升了 0.8 °C<sup>[8]</sup>;黑龙江上游河谷地区在 1958—1990 年期间,10 m 深度处的地温上升了 0.3~0.6 °C<sup>[9]</sup>。这些资料都说明了近期的地温升温趋势是很显著的。

近 40 年拉萨气候变暖趋势明显<sup>[10-15]</sup>,而系统研究拉萨深层地温变化的成果尚未见报道。本文运用气候学统计分析方法,对近 45 年拉萨深层地温的气候倾向率、突变、异常年份等进行了分析,以揭示其气候变化的事实。

## 1 资料与方法

本文选取拉萨 1961—2005 年逐月 0.8 m 和 1.6 m 以及 1971—2005 年逐月 3.2 m 平均地温,按 12 月至次年 2 月为冬季,3—5 月为春季,6—8 月为夏季,9—11 月为秋季生成逐季序列。多年平均值采用 1971—2000 年的 30 年平均。

地温的气候倾向率采用一元线性方程分析方

\* 国家自然科学基金项目“西藏羊卓雍湖对全球气候变化的响应”(40565002)资助。

2006-08-14 收到,2007-07-09 收到再改稿。

法<sup>[16]</sup>,且对趋势系数进行了显著性检验。气候突变通过累积距平和信噪比等方法<sup>[16]</sup>来分析地温的突变。采用距平大于标准差的 2 倍作为异常标准,来分析深层地温的异常特征。

## 2 结果分析

### 2.1 深层地温的气候倾向率

根据不同时段深层地温的气候倾向率分析(表 1),拉萨各层年、季平均地温均呈极显著的增温趋势,这与全球变暖趋势一致。其中 0.8 m 平均地温增温最明显(图 1),3.2 m 平均地温增温幅度较小。

表 1 拉萨深层地温的气候倾向率(单位:℃/10a)

Table 1 Linear trend of mean soil temperature at deep layer in Lhasa (unit: °C/10a)

深度/m	时段	春季	夏季	秋季	冬季	年
0.8	1961—2005	0.80*	0.59*	0.53*	0.59*	0.62*
	1971—2005	0.84*	0.81*	0.55*	0.51*	0.67*
	1981—2005	0.84*	1.02*	0.64*	0.28	0.68*
1.6	1961—2005	0.69*	0.49*	0.42*	0.61*	0.54*
	1971—2005	0.69*	0.74*	0.47*	0.47*	0.59*
	1981—2005	0.68*	0.93*	0.58*	0.31 <sup>▲</sup>	0.61*
3.2	1971—2005	0.52*	0.71*	0.45*	0.38*	0.53*
	1981—2005	0.52*	0.66*	0.54*	0.50*	0.57*

注:▲表示通过 0.05 显著性检验,★表示通过 0.01 以上显著性检验。

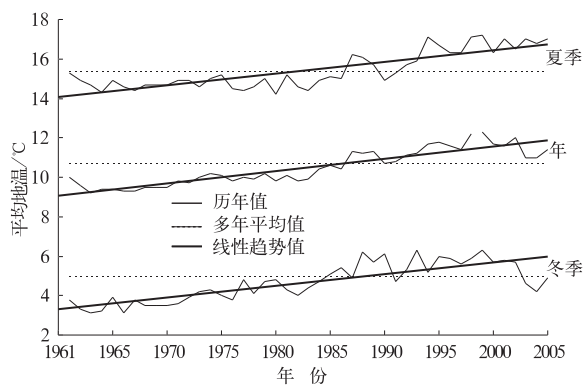


图 1 近 45 年拉萨 0.8 m 平均地温的变化

Fig. 1 The variation of mean soil temperature at 0.8 m in Lhasa during recent 45 years

从季平均地温的倾向率来看,拉萨各层平均地温春、夏两季倾向率大于秋、冬季倾向率变化。近 45 年 0.8 m 和 1.6 m 平均地温以春季增温最明显,平均每 10 年升温 0.69 ~ 0.80 °C;秋季增温幅度最小,在(0.42 ~ 0.53 °C)/10a 之间。近 35 年 0.8 m 平均地温倾向率仍以春季最大,倾向率为 0.84 °C/10a;秋季倾向率最小。而 1.6 m 和 3.2 m 平均地温却以夏季增温最大,倾向率分别为

0.74 °C/10a 和 0.71 °C/10a;冬季升幅最小。

就年平均而言,近 45 年拉萨 0.8 m 和 1.6 m 平均地温表现为极显著的增温趋势,平均每 10 年分别升高 0.62 °C 和 0.54 °C。近 35 年 3.2 m 平均地温也呈极显著的增温趋势,倾向率为 0.53 °C/10a。与同时期平均气温的气候倾向率(近 45 年为 0.43 °C/10a,近 35 年为 0.40 °C/10a)比较,深层地温的倾向率偏高(0.13 ~ 0.27 °C)/10a,这表明地温比气温对气候变暖的响应更强。

### 2.2 深层地温的年代际变化特征

从统计数据可知,拉萨 0.8 m 和 1.6 m 年、季平均地温 1971—2000 年较 1961—1990 年的标准气候平均值增高了 0.5 ~ 0.9 °C。

通过对各层地温序列作九点二次平滑的低通滤波,结果发现拉萨 0.8 m 和 1.6 m 平均地温不论是年还是四季(图 2),都经历了一个“冷—暖”的历史演变过程。20 世纪 60 年代到 80 年代中期为偏冷阶段;80 年代后期至 90 年代地温为偏暖阶段,其中 1994—2000 年 1.6 m 年平均地温连续 7 年偏高 0.6 °C

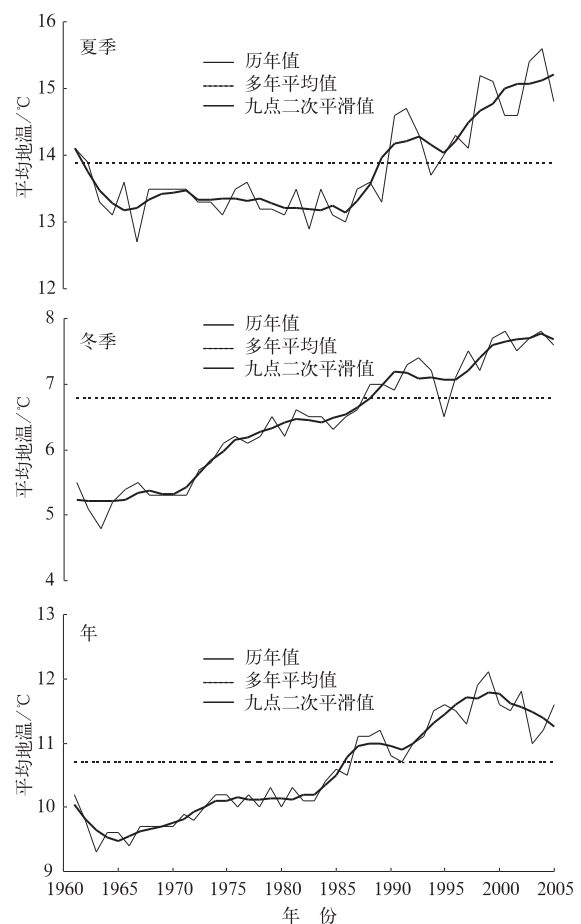


图 2 近 45 年拉萨 1.6 m 平均地温的变化

Fig. 2 The variation of mean soil temperature at 1.6 m in Lhasa during recent 45 years

以上;进入21世纪后,春、秋、冬3季平均地温呈下降趋势,特别是0.8 m冬季平均地温2003—2004年明显偏低。

3.2 m年、季平均地温也同样经历了一个“冷—暖”的历史演变过程,1971—1985年为持续较长的偏冷阶段,1986—2000年为偏暖阶段;进入21世纪后,季平均地温变化与0.8 m和1.6 m地温变化有所不同,冬季平均地温仍表现为持续偏高趋势,其他季节平均地温偏高程度减小,但亦高于多年平均值。

此外,根据拉萨深层平均地温10年际距平可知:①拉萨0.8 m和1.6 m年平均地温,20世纪60年代至90年代呈明显的逐年代升高趋势。60年代是最冷的10年,年平均地温较多年平均值偏低1.0~1.2℃;70年代平均地温仍偏低,80年代地温正常;进入90年代后,地温升温明显,较多年平均值偏高0.7~0.9℃,为过去40年最高的10年。3.2 m年平均地温20世纪70年代至90年代也表现为逐年代升高趋势,70年代偏低,80年代正常,90年代偏高。②20世纪60年代至70年代,0.8 m和1.6 m季平均地温均偏低,尤其是春季偏低得最为明显,较多年平均值偏低0.8~1.7℃。80年代大部分季节0.8 m和1.6 m平均地温仍略偏低。90年代0.8 m和1.6 m季平均地温均表现为一致升高,较多年平均值偏高0.6~1.0℃,以春季和夏季最为明显。③拉萨3.2 m季平均地温,20世纪70年代至90年代呈明显的逐年代升高趋势。70年代为负距平,以夏季偏低的最突出。80年代平均地温与70年代比较,春、夏季升高明显,秋、冬季变化不大。90年代季平均地温均为正距平,特别是夏季,偏高1.0℃。进入21世纪后,冬季平均地温持续偏高,其中2003—2005年连续3年偏高1℃,创历史极值。

### 2.3 深层地温的气候突变

利用累积距平和信噪比方法计算了拉萨深层平均地温气候突变的年份(表2),结果表明:除冬季3.2 m平均地温变化相对平稳,未出现突变现象外,

表2 拉萨深层平均地温的突变年份  
Table 2 Abrupt change years of mean soil temperature at deep layers in Lhasa

时段	0.8 m	1.6 m	3.2 m
春季	1983	1983	1983
夏季	1986	1986	1986
秋季	1986	1986	1986
冬季	1983	1984	
年	1986	1986	1986

其他各层年、季平均地温均发生了气候突变,且出现在20世纪80年代,即地温从一个相对偏冷期跃变为一个相对偏暖期。其中,各层夏、秋季和年平均地温的气候突变都发生在1986年,冬、春季平均地温突变时间出现在1983年或1984年。

### 2.4 深层地温的异常特征

根据对拉萨近45年0.8 m和1.6 m平均地温和近35年3.2 m平均地温的异常年份分析可知(表3):①近45年,拉萨0.8 m,1.6 m和3.2 m年平均地温均在1999年出现了异常偏暖,异常偏冷现象仅发生在1.6 m土层上,时间为1963年;②0.8 m和1.6 m春季平均地温在20世纪60年代初期和中期各出现了2次异常偏冷现象,较多年平均值偏低1.6~2.4℃;1999年春季深层平均地温均出现了异常偏暖,而2002—2005年春季3.2 m平均地温持续异常偏暖;夏季,深层平均地温异常偏暖都发生在1999年;秋季,0.8 m和1.6 m平均地温在20世纪60年代中期出现了异常偏冷,1998年异常偏暖;近35年,3.2 m平均地温未出现过异常年份;③20世纪60年代冬季多异常偏冷年份,0.8 m平均地温出现了4次异常偏冷年份,而1.6 m平均地温1961—1966年连续6年异常偏冷。1999,2002—2005年冬季3.2 m平均地温异常偏暖。

表3 拉萨深层平均地温的异常年份  
Table 3 Anomalous years of mean soil temperature at deep layers in Lhasa

时段	0.8 m	1.6 m	3.2 m
春季	1963 <sup>-</sup> , 1967 <sup>-</sup> ,1999 <sup>+</sup>	1963 <sup>-</sup> ,1966 <sup>-</sup> , 1967 <sup>-</sup> ,1999 <sup>+</sup>	1999 <sup>+</sup> , 2002—2005 <sup>+</sup>
夏季	1999 <sup>+</sup>	1999 <sup>+</sup>	1999 <sup>+</sup>
秋季	1965 <sup>-</sup> ,1998 <sup>+</sup>	1965 <sup>-</sup> ,1966 <sup>-</sup> , 1998 <sup>+</sup>	
冬季	1962 <sup>-</sup> ,1963 <sup>-</sup> , 1964 <sup>-</sup> ,1966 <sup>-</sup>	1961—1966 <sup>-</sup>	1999 <sup>+</sup> , 2002—2005 <sup>+</sup>
年	1999 <sup>+</sup>	1963 <sup>-</sup> ,1999 <sup>+</sup>	1999 <sup>+</sup> ,2002 <sup>+</sup>

注:“+”为异常偏暖,“-”为异常偏冷。

## 3 结论

本文运用气候学统计分析方法,对拉萨近45年深层地温的变化趋势、气候突变、异常年份等进行了分析,得到以下气候变化事实。

1) 近45年,0.8 m和1.6 m平均地温均表现为极显著的升高趋势,平均升高(0.58~0.69℃)/10a,

以 0.8 m 地温的升温幅度最大。同样,近 35 年 3.2 m 平均地温也呈现为极显著的升高趋势,倾向率为 0.53 °C/10a。与同时期平均气温的变化趋势比较,深层地温的倾向率要大,这说明地温比气温对气候变暖的响应更强。近 35 年,0.8 m 和 1.6 m 平均地温升温幅度以春季最大,秋季最小;3.2 m 平均地温却以夏季升幅最大,冬季最小。

2) 20 世纪 60 年代至 90 年代拉萨 0.8 m 和 1.6 m 年平均地温呈明显的逐年代升高趋势。20 世纪 60 年代至 70 年代四季平均地温均偏低,尤其是春季偏低最为明显;80 年代前 20 年有所升高,但大部分季节仍略偏低。进入 90 年代后,季平均地温均表现为一致的升高,以春季和夏季最为突出。

3) 20 世纪 70 年代至 90 年代,各季节 3.2 m 平均地温均呈明显的逐年代升高趋势。70 年代季平均地温为负距平,以夏季最突出;90 年代季平均地温均为正距平,特别是夏季偏高明显。

4) 冬季 3.2 m 平均地温未出现突变现象,其他各层夏、秋季和年平均地温的气候突变都发生在 1986 年,冬、春季平均地温突变时间出现在 1983 年或 1984 年。在过去 45 年里,拉萨 0.8 m,1.6 m 和 3.2 m 年平均地温均在 1999 年出现了异常偏暖,异常偏冷现象仅发生在 1.6 m 土层上,时间为 1963 年。在夏季,深层平均地温异常偏暖均发生在 1999 年。冬季,0.8 m 和 1.6 m 平均地温多异常偏冷年份,主要发生在 20 世纪 60 年代。1999,2002—2005 年冬季 3.2 m 平均地温异常偏暖。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] 李崇银. 气候动力学引论. 北京:气象出版社,1995:290-296.
- [ 2 ] 刘晓东,罗四维,钱永蕾. 青藏高原地表热状况对东西大气环流影响的数值模拟. 高原气象,1989,8(3):205-215.
- [ 3 ] Gilichinsky D A , Barry R G , Bykhovets S S , et al. A Century of Temperature Observations of Soil Climate: Methods of Analysis and Long-term Trends//Lewkowicz A G, Allard M. Proceedings of the Seventh International Conference on Permafrost. Yellowknife, Canada, 1998: 313-317.
- [ 4 ] Haerberli W, Hoelzle M, Keller F, et al. Monitoring the Long-term Revolution of Mountain Permafrost in the Swiss Alps//Proceedings of Sixth International Conference on Permafrost. Guangzhou: South China University of Technology Press, 1993,1:214-219.
- [ 5 ] Osterkamp T E, Romanovsky V E. Evidence for warming and thawing of discontinuous permafrost in Alaska. *Permafrost and Periglacial Processes*, 1999, 10(1):17-37.
- [ 6 ] 王绍令. 近几十年来青藏公路沿线多年冻土变化. 干旱区地理,1993,16(1):1-7.
- [ 7 ] 李栋梁,钟海玲,吴青柏,等. 青藏高原地表温度的变化分析. 高原气象,2005,24(3):291-298.
- [ 8 ] Gu Zhongwei, Zhou Youwu, Liang Fengxian, et al. Permafrost Features and Their Changes in Amur Area, Daxinganling Prefecture, Northeastern China//Proceedings of Sixth International Conference on Permafrost. Guangzhou: South China University of Technology Press, 1993,1: 204-209.
- [ 9 ] Yu Shengqing, Wang Zhanchen. The Degeneration of Permafrost in Upstream Valley Region of Heilong River//Proceedings of Sixth International Conference on Permafrost. Guangzhou: South China University of Technology Press, 1993, 1: 755-757.
- [ 10 ] 张顺利. 西藏 30 年温度变化的气候特征. 气象,1997,23(2): 21-24.
- [ 11 ] 缪启龙,向毓意,顾显跃. 气候变化对西藏环境经济的可能影响. 应用气象学报,1998,9(2):225-230.
- [ 12 ] 杜军,周顺武,唐叔乙. 西藏近 40 年气温变化的气候特征分析. 应用气象学报,2000,11(2):221-227.
- [ 13 ] 杜军. 青藏高原最高最低气温的非对称变化. 应用气象学报,2003,14(4):437-443.
- [ 14 ] 牛涛,刘洪利,宋燕,等. 青藏高原气候由暖干到暖湿时期的年代际变化特征研究. 应用气象学报,2005,16(6):763-771.
- [ 15 ] 边多,杜军. 近 40 年西藏“一江两河”流域气候变化特征. 应用气象学报,2006,17(2):169-175.
- [ 16 ] 魏凤英. 现代气候统计诊断预测技术. 北京:气象出版社,1999.

## Variations Trend of Soil Temperature at Deep Layers in Lhasa from 1961 to 2005

Du Jun<sup>1)</sup> Hu Jun<sup>2)</sup> Yang Yong<sup>1)</sup> Lhak Pa<sup>1)</sup> Lu Hongya<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> (*Tibet Climate Center, Lhasa 850001*)

<sup>2)</sup> (*Lhasa Meteorological Bureau, Lhasa 850001*)

### Abstract

Using the data of monthly mean soil temperatures at 0.8 m, 1.6 m and 3.2 m in Lhasa from 1961 to 2005, the linear trend, climatic anomalous and climate abrupt of deep soil temperature during recent 45 years are analyzed by using of linear trend analysis, accumulated variance and signal noise ratio methods.

In terms of linear trend, the annual mean soil temperatures at 0.8 m and 1.6 m display a significant increasing trend in Lhasa in the past 45 years, and an increase of  $(0.54-0.62\text{ }^{\circ}\text{C})/10\text{a}$ , especially at 0.8 m is indicated. During recent 35 years (1971—2005), the maximum rising range of mean soil temperature at 0.8 m and 1.6 m is in spring, the rate of rising is  $(0.84-0.69\text{ }^{\circ}\text{C})/10\text{a}$ , its minimum is in autumn. But the maximum rising range of mean soil temperature at 3.2 m is in summer, the rate of rising is  $0.71\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ , and its minimum is in winter. Comparing to the air temperature, the rising range of soil temperature is bigger in the same period. In addition, the rising range of the mean soil temperature at deep layer increases, specifically at 0.8 m and 1.6 m.

There is an obvious increase tendency of inter-decadal variations of the annual mean soil temperatures at 0.8 m and 1.6 m from the 1960s to the 1990s. The seasonal mean soil temperatures at 0.8 m and 1.6 m are low from the 1960s to the 1970s, obviously in spring, and they are still low slightly in the most seasons of the 1980s. But there is positive anomaly of the mean soil temperature in all the seasons of the 1990s, specifically in spring and summer.

The inter-decadal variations of the seasonal mean soil temperature at 3.2 m show an obvious increase trend from the 1970s to the 1990s. There is negative anomaly of the mean soil temperature at 3.2 m in all the seasons of the 1970s, especially in summer. To the contrary in the 1990s, there is positive anomaly of mean soil temperature in all seasons. It is also much evident in summer.

The annual mean soil temperatures at 0.8 m, 1.6 m and 3.2 m are anomalous warm in 1999, whereas anomalous cold year occurs only in 1963 at 1.6 m. In summer, the anomalous warm of the mean soil temperature at deep layer takes place in 1999. In winter, the soil temperatures at 0.8 m and 1.6 m are anomalous cold in years in 1960s, and the mean soil temperatures at 3.2 m are anomalous warm in 1999, 2002—2005.

Except for no abrupt change at 3.2 m in winter, the seasonal and annual mean soil temperatures at deep layer have abrupt changes, and it occurs in the 1980s. In summer and autumn there is a sudden change in 1986, in spring and winter there is a climate abrupt in 1983.

**Key words:** Lhasa; soil temperature; linear trend; anomalous years; climate abrupt