文章编号: 1000-2022(2004) 05-0660-07

近 50 a 青藏高原地面气温序列的重建

周宁芳¹, 屠其璞¹, 贾小龙², 鞠晓慧¹ (南京信息工程大学 1. 资源环境与城市规划系: 2. 大气科学系. 江苏 南京 210044)

摘 要:利用 NCEP/NCAR500 hPa 高空 再分析资料插补得到 青藏高原 1950—2000 年50 价海拔在 3 000 m 以上台站 500 hPa 完整可靠的月平均温度序列。基于青藏高 原地面气温和其上空 500 hPa 温度有着密切关系,设计了这 50 倍 站地面月平均温 度序列的 回归方案,用 回归估计值将近 50 a 各台站的现有月平均气温记录进行补 齐、延长,得到重建的高原台站完整连续的地面月平均气温资料,并对回归效果进行 独立样本实验。重建的青藏高原地面气温资料能够真实地反应高原实际气温的变化 特征。

关键词: 青藏高原; 地面气温; 资料重建

中图分类号: P467 文献标识码: A

有世界屋脊之称的青藏高原,平均海拔高度4000~5000m,占我国面积的四分之一,它 的存在对我国乃至世界气候有着极其深远的影响,对其气候变化的研究因此也备受关注^[1-2]。 由于地域广阔和环境恶劣,青藏高原的气象观测资料十分珍贵,50年代后期观测台站的数目 逐渐有所增加,大多数台站60年代以后才有连续的观测记录,各台站存在不同程度的缺测情 况。气象资料缺乏这一实际情况,很大程度地限制了对青藏高原气候变化的研究和认识,因此 在许多关于青藏高原气候的研究^[3-]中,采用了通过冰芯、湖泊沉积、孢粉、树木年轮、动物化石 以及历史文献中的信息所重建的代用资料,这些代用资料的获得在一定程度上弥补了高原气 象资料的不足。但是冰芯、年轮等这些资料的获取有很大的客观局限性,而且准确性和可靠性 也有待进一步提高。因此,本文将利用另外一种科学的方法将高原台站现有的观测记录延长、 补齐。

1 资料

NCEP/NCAR 高空再分析资料是目前较多采用的格点资料,网格间距经度×纬度为 2.5%2.5°本文使用了 500 hPa月平均温度再分析资料,时间为 1950—2000年。此外还有青 海、西藏 50 个气象台站的月平均地面气温观测记录,考虑到高原复杂地形和海拔高度对地面

收稿日期: 2003-06-23; 改回日期: 2003-09-24

基金项目:科技部课题(97G1);中国科学院知识创新工程项目(kzcx1-sw-04);科技部社会公益研究项目 (2001DIB10085)

作者简介:周宁芳(1975-),女,陕西渭南人,博士生,研究方向:气候变化.

气温的影响,所以这些台站海拔高度都在 3 000 m 以上。

2 高原地面气温与 500 hPa 温度的关系

刘晓东等^[8]利用青藏高原气温场与北半球其他地区气温空间分布的相关关系,通过 EOF 将高原气温序列插补延长,从而获取了较长时间的气温序列。青藏高原约占到对流层厚度的四 分之一,与 500 hPa 的高度相当接近,研究^[9]表明地面气温的年代际变化与 500 hPa 温度的年 代际变化有相当好的相关性,因此两者的关系较平原地区应更加密切。

因为高原上有高空探测记录的台站很少,本文仅收集到达日(99.39 E,33.45 N,海拔 3 967.5 m)、玉树(97.01 E,33.01 N,海拔 3 681.2 m)以及沱沱河(92.26 E,34.13 N,海拔 4 533.1 m) 3 个站的 500 hPa 温度实测记录。图 1 给出了达日、玉树 500 hPa 年平均温度的实 测值与地面年平均气温的年际变化。可以看到达日、玉树 500 hPa 温度与地面气温年际和年代 际变化特征是十分一致的,其中达日 500 hPa 年平均温度实测值序列和地面年平均气温序列 相关系数达到 0.915,玉树也达到 0.689,都通过了 0.001 的显著性检验。



图 1 达日(a)、玉树(b)500 hPa 年平均温度与地面年平均气温的年代际变化 Fig.1 Temporal variations of annual mean 500 hPa and surface temperature at Dari(a) and Yushu(b)

分别计算达日、沱沱河以及玉树各月 500 hPa 温度实测值与地面气温的相关系数,结果列于表1。3 个站各月相关系数大多通过 0.001 的显著性水平检验,达日、玉树 500 hPa 温度与地面气温的相关系数值较沱沱河更加大一些。3 个站在 12 月的相关系数都小一些,沱沱河 11 月只有 0.35,但也通过了 0.05 的显著性水平检验。由此可知不同测站受到局地因素的影响,虽然各个月份 500 hPa 温度与地面气温关系有所差别,但它们之间关系还是很密切的。

表1 达日、沱沱河、玉树各月 500 hPa 温度实测值与地面气温的同期相关系数

Table 1Correlation coefficients between monthly 500 hPatemperature and surface temperature at Dari, Tuotuohe and Yushu

测站	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
达日	0.80	0.94	0.94	0.93	0.92	0.94	0.92	0.87	0.69	0.95	0.85	0.66
沱沱河	0. 79	0.88	0.76	0.66	0.76	0.74	0.82	0.68	0.80	0.66	0.35	0.44
玉树	0.75	0.86	0.81	0.88	0.88	0.88	0.56	0.73	0.84	0.90	0.79	0.64

3 青藏高原台站 1950—2000 年 500 hPa 温度的插补

青藏高原高空气象要素的获取主要依靠人工放探测气球,有高空探测记录的台站为数很

少,实际探测资料的覆盖率和长度均无法满足研究需要,因此使用美国 NCEP/NCAR 高空 500 hPa 再分析资料插补得到。

3.1 插补方法

NCEP/NCAR 高空再分析资料网格间距经度×纬度为 2.5 °× 2.5 °青藏高原所在范围 (75~105 °£、25~40 °N) 共有 72 个格点, 任意一个台站周围都有 4 个格点。将周围 4 个格点如 (*x*1, *y*1)、(*x*1, *y*2)、(*x*2, *y*1)、(*x*2, *y*2) 的资料值采用双线性插值法内插到格点内任意位置 (*x*, *y*), 建立方程

$$T_{i}(x, y) = a + b_{i} \cdot x + c_{i} \cdot y, \quad t = 1, 2, \dots, N_{\circ}$$
(1)

式中, x, y 为测站所在经纬度, 系数 a_i , b_i , c_i 根据格点温度资料 $T_i(x_1, y_1)$, $T_i(x_1, y_2)$, $T_i(x_2, y_1)$, $T_i(x_2, y_2)$ 由最小二乘法求得。

根据方程(1) 将 NCEP/ NCA R 500 hPa 月 平均温度的格点资料对应内插至 50 个台站的位置,得到这 50 个台站 1950—2000 年完整的 500 hPa 月平均温度序列。

3.2 插补效果检验

为了检验各台站 500 hPa 插值的可靠性,可以将所得插值与对应的观测值进行比较。将这 3 个站 500 hPa 月平均温度的观测值与所得插值进行比较,图 2 给出了达日、玉树 500 hPa 年 平均温度实测值与插值的年际变化,两站的两条序列相关系数分别达到 0.834 与 0.701,变化 几乎完全对应,趋势变化特征基本一致。



图 2 达日(a)、玉树(b)500 hPa 年平均温度实测值与插值的年代际变化 Fig. 2 Temporal variations of annual mean 500 hPa observed temperature and interpolated result at Dari(a) and Yushu(b)

表 2 是达日、玉树和沱沱河 500 hPa 温度实测值与插值在各月的相关系数。可以看到各月 500 hPa 温度的插值和实测值的相关很好,相关系数最大可达 0.96 以上,几乎都通过 0.001 的显著性水平检验,沱沱河在 8 月虽只达到 0.49,但也通过 0.01 的显著性水平检验。 表 2 达日、沱沱河、玉树 500 hPa 温度实测值与插值各月的同期相关系数

Table 2 Correlation coefficients of observations and

interpolation results of monthly 500 hPa temperature at Dari, Tuotuohe and Yushu

测站	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
达日	0. 89	0.88	0.76	0.75	0.88	0.90	0.91	0. 89	0.65	0.96	0. 92	0.83
沱沱河	0.90	0.93	0.70	0.73	0.69	0.63	0.66	0.49	0.76	0.76	0.88	0.85
玉树	0.74	0.88	0.78	0.85	0.71	0.91	0.72	0.85	0.93	0.91	0.86	0.65

因此, 可以认为经 NCEP/NCAR500 hPa 再分析资料插补得到的各台站 500 hPa 月平均 温度序列是可靠的。下文所提到的各台站 500 hPa 月平均温度都是指内插所得到的 500 hPa 月平均温度的插值。

4 近 50 a 青藏高原地面气温序列的重建

4.1 各台站 500 hPa 温度和地面气温的相关分析

青藏高原 50 个台站地面月平均气温资料长度最长 47 a, 最短 23 a。 计算各台站 500 hPa 温度与其地面气温的同期相关系数,将 50 个台站 12 个月的相关系数 r 通过各显著性水平的 数目进行统计,结果列于表 3。

50 个台站 12 个月的相关系数达到 0. 800 以上的占 28 %,其中 1 月、3 月、4 月和 10 月相 关系数达到 0. 800 以上的占到相应月份 50 % 以上。所有通过 0. 001 显著性检验的相关系数占 到 90 %,通过 0. 05 显著性检验的相关系数占到 98 %,只有个别台站在个别月份相关系数通 不过 0. 05 的显著性检验,这些台站基本都在西藏,而且集中在 7、8 和 12 月。此外,各站的相关 有明显的年变化,春季相关系数值普遍较大,达到 0. 800 以上的占到 43 %,秋季次之,相关系 数达到 0. 800 以上的 38 %,夏季和冬季(2 月除外)相关系数达到 0. 800 以上的很少,这可能 与冬季、夏季地面气温受局地因子影响较明显有关。从总体上看,青藏高原各站地面气温与 500 hPa 温度序列的相关是显著且十分密切的,因此,可以作为重建高原完整地面温度序列的 依据。

表3 相关系数 r 通过各显著性检验的台站数目

Table 3 The number of stations whose correlation coefficients satisfy relevant significant tests

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
<i>r r</i> _{0.001}	45	50	50	50	49	40	39	34	49	49	48	35
$r_{0.001} > r r_{0.01}$	3	0	0	0	1	6	4	6	1	1	1	9
$r_{0.01} > r r_{0.02}$	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	2
r _{0.02} > r r _{0.05}	1	0	0	0	0	2	0	5	0	0	1	1
$r < r_{0.05}$	1	0	0	0	0	1	5	5	0	0	0	3

4.2 重建方案的设计

青藏高原地面气温与其上空 500 hPa 温度有很密切的关系,本文基于这种相关性建立台站 500 hPa 月平均温度序列和地面月平均气温的统计相关关系式,利用这些关系式可以延长台站记录长度和补齐缺测月份,从而重建 1950—2000 年高原台站月平均气温资料序列。

假设要素 *X* 在 *t*= 1, 2, ..., *n*, *n*+ 1, ..., *N* 有观测记录, *Y* 仅在 *t*= *n*+ 1, *n*+ 2, ..., *N* 有记 录, 根据 *X* 和 *Y* 在有共同观测记录时期, *t*= *n*+ 1, *n*+ 2, ..., *N* 的观测资料, 可以建立 *Y* 依 *X* 在此时期的一元线性回归方程, 即

 $Y_{t} = A + B \cdot X_{t}, \quad t = n + 1, n + 2, \dots, N_{\circ}$ ⁽²⁾

将 *X* 在 *t* = 1, 2, ..., *n* 时期的记录代入上述方程即可得到 *Y* 在此时期的回归估计值, 与原 有的 *t* = *n*+ 1, *n*+ 2, ..., *N* 时的观测记录合在一起, 这样 *Y* 在 *t* = 1, 2, ..., *n*, *n*+ 1, ..., *N* 就有了 完整的记录。

X 和 Y 在 t= n+1, n+2, ..., N 时期的观测资料数称为样本容量, 根据不同的样本容量将 得到不同的回归系数, 为了使回归方程比较稳定, 通常应尽可能扩大样本容量, 即把所有可以 应用的同期观测资料都用到建立回归关系式中去。本文依照上述方法重建青藏高原 50 个台站 无记录或缺测的月平均气温资料,与已有的观测序列合在一起,重新建立了青藏高原 50 个台 站 1950—2000 年连续完整的月平均气温序列。

4.3 回归效果的独立样本检验

青藏高原这 50 个台站中有连续气温资料的开始年份最早在 1954 年,结束年最早在 1993 年,其中有 42 个台站在 1969 年至 1998 年有连续的资料。为了检验重建方案的回归效果,统一 取 1969– 1998 年为参照期,依照上述方法分别建立这 42 个台站 12 个月的一元回归模式,并 将 1969 年之前和 1998 年之后的值合在一起作为独立样本,可以通过独立样本中的回归估计 值序列与实测值序列的比较,从总体上考察重建序列的合理性。表 4 中列出了独立样本 12 个 月的温度距平平均绝对误差 *R*、均方误差 *S*^{*R*} 以及回归估计距平序列和实测距平序列的相关系 数 *r*。

由表 4 中独立样本的各月回归估计距平值序列和实测距平值序列的相关系数 r 可以看到 12 个月的平均相关系数为 0.65,10 月相关系数最大,达到 0.81,1 月相关系数最小,只有 0.42。就季节差异来看,秋季相关最好,9 月至 11 月的平均相关系数为 0.77,春季次之,3 月至 5 月平均相关系数为 0.67,夏季(6—8 月)和冬季(12、1 和 2 月)的 3 月平均相关系数分别为 0.60和 0.58。与利用其他代用资料重建温度序列的效果相比,效果要好得多。

表4 回归效果的精度指标

T 1 1 4 T 1 · · ·	• 1	- C	•
Table 4 The precision	ındex	ot	regression

特征值	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
r	0.42	0.74	0.80	0.78	0.43	0.54	0.61	0.66	0.76	0.81	0.74	0.57
R	1.09	0.96	0.72	0.60	0.76	0.64	0.54	0.66	0.57	0.64	0.85	1.16
S_R	1.49	1.27	0.95	0.76	0.94	0.82	0.67	0.80	0.71	0.86	1.20	1.80

平均绝对误差的值越小表明回归估计值与实测值的差异很小,由表 4 中 R 值可以看到 12 月回归估计值与实测值差异最大,7 月最小。年平均绝对误差值达到 0.77 ,冬季 3 个月平均 误差值最大,为 1.07 ,其他 3 个季相差不大,都在 0.65 左右。

样本均方误差值越小表明实测值与回归值平均差异很小,有较好的回归效果。表 4 中样本 均方误差值年平均为 1.00 ,其中 12 月最大,7 月最小。冬季 3 个月平均为 1.52 ,春、夏、 秋平均都小于 1.00 。

表 4 各项回归精度指标说明总体而言回归效果较好,但各月回归效果存在一些差异。图 3 给出了独立样本 1 月、7 月平均温度的插补距平值与实测距平值的相关散布。从图可以看到, 独立样本的点 1 月较 7 月离散,但在这两个月点基本密集散布在与横坐标基本成 45 交角的一 条通过原点的直线附近,从而也说明独立样本的回归估计值与实测值是吻合的。

根据各年代回归资料占重建资料百分比的情况,可以看到除了 50 年代回归资料所占比重 很大外,其余各年代比重都较小,因此在此重建资料中回归资料所占比例较小(表略)。

通过以上分析研究可以认为青藏高原这 50 个台站的月平均气温的重建方案是完全可行的,回归效果较好;回归资料在重建资料中所占比例不高,所以重建的 1950—2000 年 50 个台站的月平均气温序列能够真实地反应青藏高原各月平均气温变化的特征,可以用作研究青藏高原近 50 a 气温变化特征的基本资料。



图 3 独立样本 1 月(a)、7 月(b) 平均温度的插补距平值与实测距平值的相关散布 Fig. 3 The scatter diagram of the correlation between the actual anomaly and interpolated anomaly of average temperature in January(a) and July(b)

5 结 论

(1) 观测资料表明, 青藏高原月平均地面气温与 500 hPa 月平均温度的相关是十分密切的, 因此后者可以作为重建前者完整序列的依据。

(2)采用双线性插值法将台站周围的 500 hPaNCEP/NCAR 格点资料值内插到相应台 站,得到青藏高原 50 个台站 1950—2000 年 500 hPa 连续、完整的月平均温度序列,经检验插 补序列与观测序列是十分吻合的。

(3) 基于 NCEP/NCAR 再分析资料中 500 hPa 温度与地面气温的相关分析,以及在青藏 高原这种相关更加密切的研究,分别确定各个台站各月的回归方案,对各台站的月平均记录进 行延长、补齐,重建了青藏高原 50 个台站 1950—2000 年的地面月平均气温序列。

(4)回归效果的独立样本检验表明各回归方案是完全可行的。各项回归精度指标表明各月回归效果存在一些差异,1月与12月回归效果虽不如其他月份,但总体回归效果较好,并且回归资料在重建资料中所占比例不高,所以重建的月平均气温序列能够真实地反应青藏高原各月平均气温变化的特征,可以作为研究青藏高原近50a年代变化的基本资料。

参考文献:

- [1] 叶笃正, 高由禧. 青藏高原气象学[M]. 北京: 科学出版社, 1979: 1-278.
- [2] 汤懋苍,程国栋,林振耀.青藏高原近代气候变化及其对环境的影响[M].广州:广东科技出版社,1998:1-339.
- [3] 王绍武, 叶瑾琳, 龚道溢, 等. 近百年中国年平均气温序列的建立[J]. 应用气象学报, 1998, 9(4): 392-400.
- [4] Lin P N, Thompson L G, Davis M E, et al. 1 000 years of climatic changes in china: ice-core δ ¹⁸O evidence[J]. Annuals of Glaciology, 1995(21): 189–195.
- [5] 康兴成,张其花,Lisa J, 等. 青海都兰过去 2000 年来的气候重建及其变迁[J]. 地球科学进展, 2000, 15(2): 215-221.
- [6] 冯 松,姚檀栋,江 灏,等. 青藏高原近 600 年的温度变化[J]. 高原气象, 2001, 20(1): 105-108.
- [7] 林振耀, 吴祥定. 西藏气候[M]. 北京: 科学出版社, 1984.
- [8] 刘晓东,徐敏锋,惠晓英,等.青藏高原当代气候变化特征及其对温室效益的响应[J].地理科学,1998,18(2):113-121.
- [9] 周宁芳, 屠其璞, 贾小龙. 近 50 a 北半球和青藏高原地面及对流层中上层温度变化趋势特征[J]. 南京 气象学院学报, 2003, 26(2): 219-227.

Reconstruct the Surface Temperature Series over the Tibetan Plateau in the Recent 50 Years

ZHOU Ning-fang¹, TU Qi-pu¹, JIA Xiao-long², JU Xiao-hui¹

(1. Department of Geography; 2. Department of Atmospheric Sciences, NUIST, Nanjing 210044, China)

Abstract: Complete and reliable monthly mean temperature series at 500 hPa for 50 stations of the Tibetan Plateau which locate at a more than 3 000 m height for 1950—2000 are presented by making use of the bilinear interpolation for NCEP/NCAR data. According to the close relation between surface and 500 hPa temperatures over the Tibetan Plateau, we design the regression scheme for each month of every station, and make the new regressions supply the lack, and reconstruct the whole surface monthly average temperature of the Tibetan Plateau during the period from 1950 to 2000. The contrast experiment of the regressive effect shows that the regression schemes are complete feasible. The characters of the new reconstructed monthly average air temperature represent the actual ones of temperature over the Tibetan Plateau fairly well.

Key words: Tibetan Plateau; surface air temperature; reconstruct data series