

文章编号: 1001-4675(2011)05-0879-06

中国西部地区气温资料的统计降尺度研究*

钞振华^{1,2}

(1. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000; 2. 南通大学 地理科学学院, 江苏 南通 226007)

摘要: 利用再分析资料, 通过降尺度方法可以获取陆面过程模型以及陆面数据同化系统所需要的气温、风场、比湿、辐射、降水等高质量驱动数据。通过气温资料的降尺度分析, 以 ERA-40 再分析资料作为背景场, 使用地统计学方法建立中国西部气温观测场的观测误差协方差, 使用 IV 方法估计背景误差协方差, 利用最优插值法生成了中国西部地区 2000 年空间分辨率为 $0.125^\circ \times 0.125^\circ$ 的逐日气温资料, 并分析了该气温分析场的精度。结果表明: 统计降尺度方法建立的逐日气温分析场基本上可以反映中国西部地区的气温变化, 在地势相对平缓的区域精度较高; 而在青藏高原区, 其质量相对较低, 仍受到地形和站点分布的影响, 但相比再分析资料有所提高。

关键词: 气温; 降尺度; 陆面过程模型; 逐日气温; 西部地区; 中国

中图分类号: P423 文献标识码: A

陆面过程模型以及陆面数据同化系统所需要的气温、风场、比湿、辐射、降水等高质量驱动数据, 可以利用再分析资料经过降尺度方法获取。降尺度方法一般分为动力降尺度和统计降尺度⁽¹⁻⁴⁾。动力降尺度的优点是物理意义明确, 能应用于任何地方而不受观测资料的影响, 也可应用于不同的分辨率, 其缺点是计算量大, 费机时。相比之下, 统计降尺度法计算量小而易于操作, 从而受到众多研究者的青睐, 其输出结果也得到了认可^(3, 5-9)。动力降尺度法已经得到了广泛应用, 相比之下, 利用统计降尺度法在中国区域开展气候情景的研究却很少。范丽军⁽¹⁰⁾在 2006 年利用主分量分析和逐步回归相结合的统计降尺度模型, 生成中国区域各个台站 1 月和 7 月未来温度变化情景和未来区域平均降水变化情景。Wetterhall⁽¹¹⁾用 4 种统计降尺度法评价了中国南部、东部和中部 3 个流域的日降水量, 结果表明, 临近海域的南部和东部流域降水的降尺度效果最好, 而地形较复杂的中部流域效果差。综上所述, 利用统计降尺度方法发展区域尺度上的大气参数是可行的, 但在中国利用统计降尺度方法获取区域高质量气象要素的研究仍处于探索阶段。

中国西部地区跨越 52 个经度和 32 个纬度, 包括西北、西南共 12 个省市自治区, 面积和人口分别占全

国陆地总面积的 68.83% 和人口的 27.41%。境内地形以高原、高山、沙漠及盆地为其主要特征, 气候差异大, 其年内、年际或年代际变化的时空分布特征也十分明显。随着中国西部地区陆面过程研究的深入, 利用统计降尺度方法开展区域尺度上大气参数的研究显得尤为重要。该地区台站十分稀少, 如青藏高原西部仅有 3 个气象台站, 而再分析资料的精度也较差⁽¹²⁾, 因此, 在这一地区开展气温及其他再分析资料的降尺度研究具有重要的现实意义。

1 数据

1.1 再分析资料

NCEP-II(National Centers for Environmental Prediction-Department of Energy Atmospheric Model Inter-comparison Project Reanalysis), ERA-40 (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts Reanalysis 40 Years), JRA-25(Japanese Re-Analysis 25 Years) 是目前同化时间序列较长的再分析资料, 相比之下, ERA-40 在中国西部地区的可信度高⁽¹²⁾, 本研究所用的是 ERA-40 再分析资料 2000 年 2 m 逐日平均气温产品, 从 http://data.ecmwf.int/data/d/era_40_daily/ 下载, 该资料的水平分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 。

* 收稿日期: 2010-11-22; 修订日期: 2011-03-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(40861022, 40501054); 冰冻圈科学国家重点实验室开放基金(SKCLS 2010-01)

作者简介: 钞振华(1977-), 男, 河南新野人, 讲师, 博士, 主要从事环境遥感和再分析资料的降尺度研究. E-mail: chaozhenhua@lzb.ac.cn

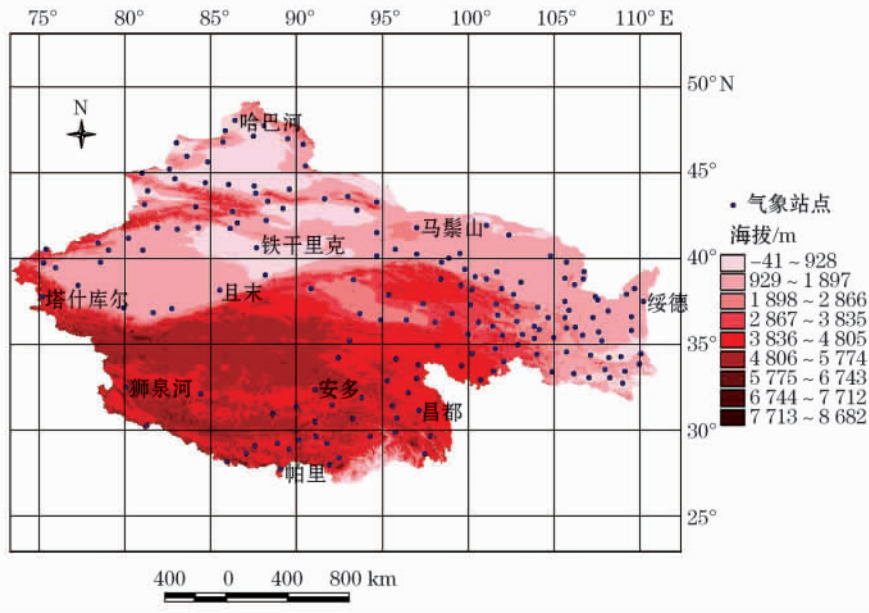


图1 气象站点分布示意图

Fig. 1 Distribution of the weather stations in the study area

1.2 气象观测数据

本研究共收集了中国西部 177 个气象站 2000 年逐日平均气温资料, 站点分布情况如图 1。

1.3 辅助数据

本文所使用的 DEM 数据是根据中国 1:250 000 等高线和高程点形成的, UTM 投影, 分辨率为 1 km。

气象站点气温数据、DEM (Digital Elevation Model) 资料均由国家自然科学基金委“中国西部环境与生态科学数据中心 (<http://westdc.westgis.ac.cn/>)”提供。

2 统计降尺度方案

最优插值法是在背景场协方差的基础上构建的同化系统, 它的优点是计算量小。本文以 ERA-40 再分析资料作为背景场, 估算并建立了中国西部地区气温观测场, 估算背景误差协方差、误差等问题, 利用最优插值方法建立了该区域 2000 年逐日气温分析场。

2.1 总体方案

研究方案采用了均方差最小的线性插值方法——最优插值法^[13]。其计算公式如下。

$$x_a = x_b + K(y - H[x_b]) \quad (1)$$

$$K = BH^T(HBH^T + O)^{-1} \quad (2)$$

式中: x_a 为分析场状态变量, x_b 为背景场, y 为观测向量, H 为观测算子, H 是 H 的微分, B 为背景误

差协方差, O 为观测误差协方差矩阵, 上标 T 表示矩阵的转置, -1 表示矩阵的逆。 K 表示分析场的增益矩阵, 也称为权矩阵。

2.2 背景场误差协方差估计

最优插值方法中最重要的参数是背景场的误差协方差矩阵, 背景场误差协方差的结构特征决定着资料的扩展范围, 即不同观测点之间信息的传递和平滑, 包括将信息传递到没有观测资料的空缺点上、保持不同变量之间的平衡关系等^[14]。构造合理的背景误差协方差矩阵对于数据同化系统至关重要, 甚至会决定数据同化分析的好坏。由于中国西部地区观测站点有限, 且地形比较复杂, IV (innovation vector) 方法可以根据分布不均匀的观测结果统计背景误差协方差, 所以本研究在估计背景误差协方差时采用了 IV 方法。

定义 x_b , x_T 和 y 分别代表背景值、真值及观测值, 则背景误差为 $e_b = x_b - x_T$, 观测误差为 $e_o = x_o - x_T$, 则 IV 可表示为: $d = y - H[x_b]$ 。假定背景误差和观测误差无相关性, 则水平空间两点 i 和 j 间的 IV 值的协方差表示如下:

$$C(r_{ij}) = \overline{d_i d_j} = \overline{(e_i^o e_j^o)} \cdot \delta_{ij} + \overline{e_i^b e_j^b} \quad (3)$$

上划线表示数学期望, 当 $r_{ij} \neq 0$ 时, 根据上式求出背景误差的协方差; $r_{ij} = 0$ 时, 该式为背景方差和观测方差之和, 所有可能的观测点所对的 (d_i, d_j) 值则给出背景误差协方差随距离 r 变化的函数。

IV 方法在估算背景误差协方差时,要求的前提条件是假设水平方向均匀和各向同性,为了使站点布局相对均匀,本文在利用 IV 方法估计背景协方差时,在中国西部地区均匀选取了 38 个站点,用于求算背景误差协方差,其背景误差协方差为 12.714。

2.3 观测误差协方差估计

观测误差协方差估计借助于克里格方法^[15]。其求算流程如图 2。

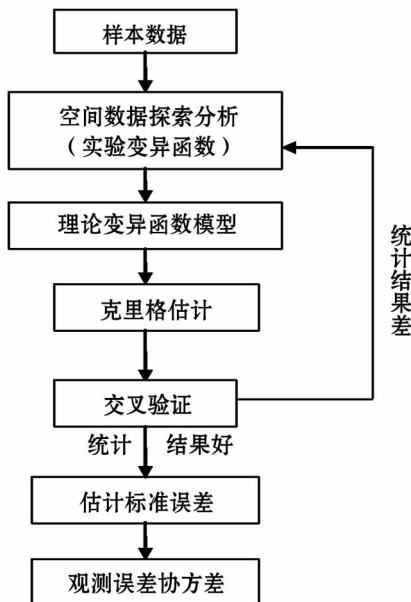


图 2 观测误差协方差求算流程图

Fig. 2 Flow chart for calculating the observation error covariance

3 结果

3.1 日平均气温

初步研究表明,在地统计学统计降尺度的基础上,我们建立了中国西部地区 2000 年逐日、空间分辨率为 0.125° 的气温资料,并在青藏高原、新疆及陕西—甘肃—宁夏—内蒙古分别选取了一些站点(表 1),并进行观测、再分析资料以及气温的分析比较(图 3)。

通过分析表明,气温分析场与观测气温的变化趋势基本一致,相对于 ERA-40 再分析资料有很大改进。

在高原区域,沱沱河站点的观测、再分析及气温变化比较吻合,这可能是 ERA-40 再分析资料同化了该站点观测资料。而其余高原站点如林芝、小灶火等气温资料的改进效果仍不是很理想,这可能归因于高原地形复杂、海拔高,相应的站点稀少,从而

影响了背景误差协方差的估计。

表 1 用于评价分析气温资料所选取的站点

Tab. 1 Weather stations selected for evaluating the analyzed air temperature data

站点	经度 / (°)	纬度 / (°)	海拔 / m	所属区域
林芝	94.33	29.67	2991.8	西藏
昌都	97.17	31.15	3306.0	西藏
沱沱河	92.43	34.22	4533.1	青海
巴楚	78.57	39.80	1116.5	新疆
吐鲁番	89.20	42.93	34.5	新疆
张掖	100.43	38.93	1482.7	甘肃
长武	107.80	35.20	1206.5	陕西
安西	95.77	40.53	1170.8	甘肃

在新疆、陕西—甘肃—宁夏—内蒙古等区域气温的改进比较好,这与该区域站点资料相对较多,地形变化幅度较小有关。

3.2 月平均气温

图 4 和图 5 分别是西部地区空间分辨率为 $0.125^\circ \times 0.125^\circ$ 的 1 月和 7 月气温分析场。从这两幅图可以看出,气温分析场的空间分布非常合理,细化程度很高,其生成的气温值符合局部地形。

利用中国西部站点月平均气温资料,检验了通过最优插值方法所建立的中国西部地区气温分析场(图 6~7),两种资料的相关性分别为 0.96 和 0.94,均方根误差分别为 2.21 和 6.57。

从以上结果可以看出,1 月和 7 月气温分析场与相应观测站点气温拟合程度都很高,初步表明了基于地统计学基础上的最优插值法能够建立中国西部地区的气温分析场。

4 结束语

本文在地统计学方法——综合方法所建立的中国西部气温观测场和观测误差协方差的基础上,采用了 IV 方法估计背景误差协方差,利用最优插值法生成了中国西部地区 2000 年空间分辨率为 $0.125^\circ \times 0.125^\circ$ 的逐日气温分析资料,并比较分析了气温分析场的精度。

通过分析表明,无论是月平均气温还是日平均气温,气温分析场与观测气温的变化趋势基本一致,相对于 ERA-40 再分析资料有很大改进,也进一步说明了利用地统计学方法和最优插值法可以生成高质量的气温资料,也比仅依靠空间内插方法如综合方法的估计效果好。

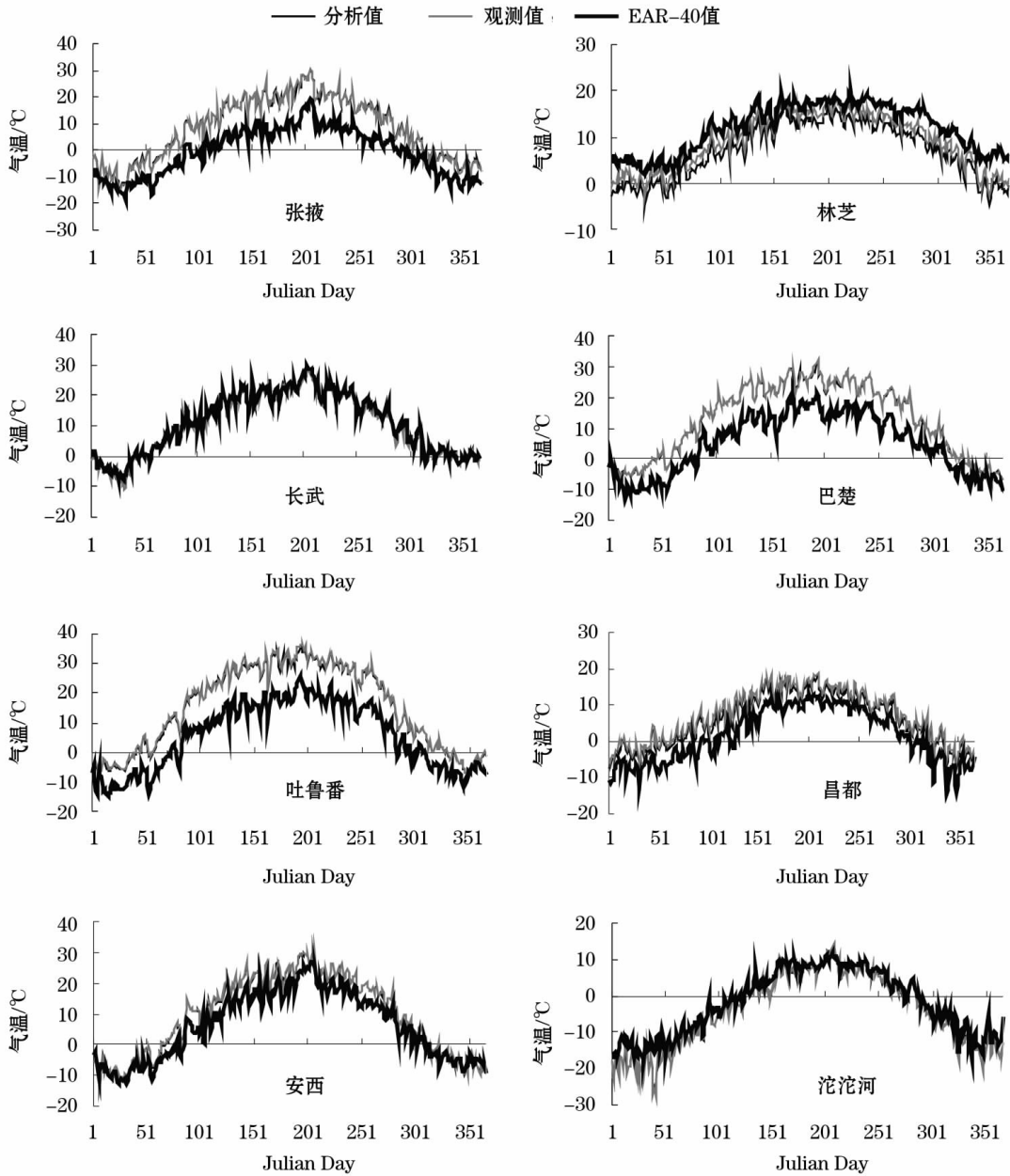


图3 站点观测、ERA-40与分析气温的比较

Fig. 3 Compared results the observed, ERA-40 and analyzed air temperature data at the weather stations in 2000

在高原区域, 沱沱河站点的观测、再分析及分析气温变化比较吻合, 这可能是 ERA-40 再分析资料同化了该站点观测资料。而其余高原站点如林芝、小灶火等气温资料的改进效果仍不是很理想, 这可能归因于高原地形复杂、海拔高, 相应的站点稀少, 从而影响了综合方法和背景误差协方差的估计。

在新疆、陕西—甘肃—宁夏—内蒙古等区域气温的改进比较好, 这与该区域站点资料相对较多, 地形变化幅度较小有关。

最优插值方法是基于归一化的背景场协方差构

建线性同化系统, 其所使用的协方差矩阵不随时间变化的特点, 限制了它不能将动力模式和观测值充分融合在一起。

总之, 基于地统计学和最优插值的统计降尺度方法, 充分考虑了站点观测资料和再分析资料, 其建立的逐日气温分析场基本上可以反映中国西部地区的气温变化, 在地势相对平缓的区域可以直接用于陆面模型; 而在青藏高原区域, 其质量仍受到地形和站点分布的影响。

最优插值方法是基于归一化的背景场协方差构

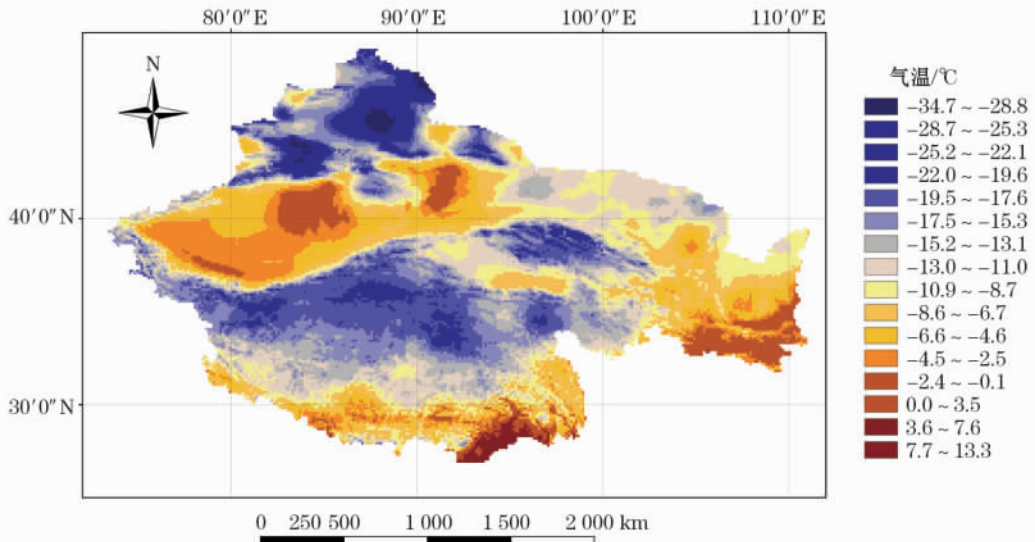


图4 中国西部地区2000年1月平均气温分析场

Fig. 4 Analyzed average air temperature field in west China in January 2000

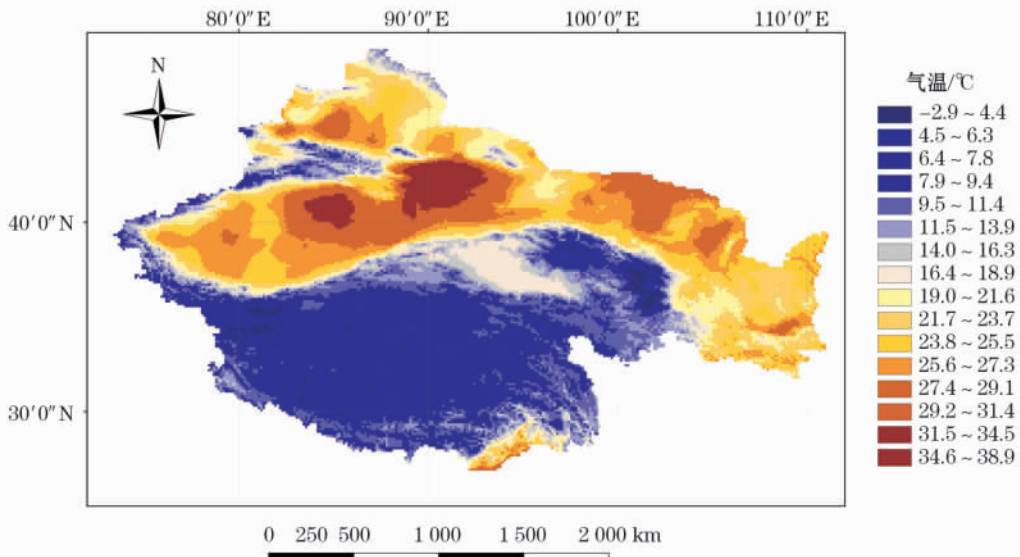


图5 中国西部地区2000年7月平均气温分析场

Fig. 5 Analyzed average air temperature field in west China in July 2000

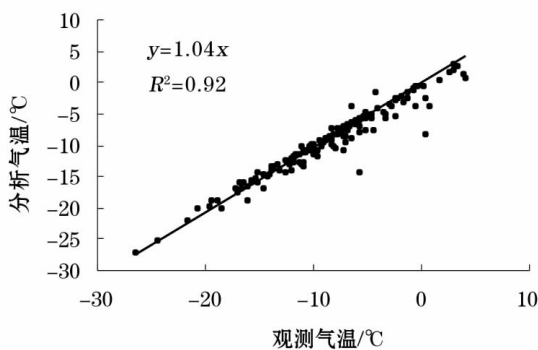


图6 中国西部站点2000年1月月均气温与气温分析场相应气温的散点图

Fig. 6 Scatter diagram of the observed and analyzed air temperature in west China in January 2000

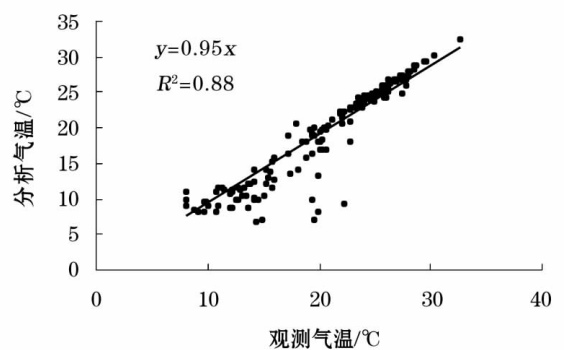


图7 中国西部观测站点2000年7月月均气温与气温分析场相应气温的散点图

Fig. 7 Scatter diagram of the observed and analyzed air temperature in west China in July 2000

建线性同化系统,其所使用的协方差矩阵不随时间变化的特点,限制了它不能将动力模式和观测值充分融合在一起,这在具体日期观测气温与分析气温之间的差异上有所体现。

参考文献(References):

- (1) Hewitson B C, Crane R G. Climate downscaling: Techniques and application (J). *Climate Research* 1996 7(2): 85-95.
- (2) 范丽军,符淦斌,陈德亮. 统计降尺度法对未来区域气候变化情景预估的研究进展 (J). *地球科学研究进展* 2005 20(3): 320-329. (Fan Lijun, Fu Congbin, Chen Deliang. Review on creating future climate change scenarios by statistical downscaling techniques (J). *Advances in Earth Science* 2005 20(3): 320-329.)
- (3) Hay L E, Clark M P. Use of statistically and dynamically down-scaled atmospheric model output for hydrologic simulations in three mountainous basins in the western United States (J). *Journal of Hydrology* 2003 282: 56-75.
- (4) Zhang X C. Spatial downscaling of global climate model output for site-specific assessment of crop production and soil erosion (J). *Agricultural and Forest Meteorology* 2005 135: 215-229.
- (5) Uvo C B, Olsson J, Morita O, et al. Statistical atmospheric downscaling for rainfall estimation in Kyushu Island, Japan (J). *Hydrology and Earth System Sciences* 2001 5(2): 259-271.
- (6) Wilby R L, Conway D, Jones P D. Prospects for downscaling seasonal precipitation variability using conditioned weather generator parameters (J). *Hydrological Processes* 2002 15: 1215-1234.
- (7) Penlap E K, Matulla C, von Storch H, et al. Downscaling of GCM scenarios to assess precipitation changes in the little rainy season (March-June) in Cameroon (J). *Climate Research* 2004 26: 85-96.
- (8) Wilby R L, Hassan H, Hanaki K. Statistical downscaling of hydrometeorological variables using general circulation model output (J). *Journal of Hydrology* 1998 205: 1-19.
- (9) Timbal B, Fernandez E, Li Z. Generalization of a statistical downscaling model to provide local climate change projections for Australia (J). *Environmental Modelling & Software* 2009 24: 341-358.
- (10) 范丽军. 统计降尺度方法的研究及其对中国未来区域气候情景的预估 (D). 北京: 中国科学院大气物理研究所, 2006. (Fan Lijun. Statistical Downscaling of Local and Regional Climate Scenarios over China (D). Beijing: Doctor Dissertation Submitted to Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy Sciences, 2006.)
- (11) Wetterhall F, Bardossy A, Chen D L, et al. Daily precipitation-downscaling techniques in three Chinese regions (J). *Water Resources Research* 2006 42(11): 1-13.
- (12) 钞振华. 三种再分析气温产品在中国西部地区的可信度评价 (J). *大气科学学报* 2011 34(2): 162-169. (Chao Zhenhua. The reliability evaluation of three reanalysis air temperatures in western China (J). *Transactions of Atmospheric Sciences* 2011 34(2): 162-169.)
- (13) Daley R. *Atmospheric Data Analysis (M)*. London: Cambridge University Press, 1991: 32-63.
- (14) Fu W W, Zhou G Q, Wang H J. Ocean data assimilation with background errors covariance derived from OGCM outputs (J). *Advances in Atmospheric Science* 2004 21(2): 181-192.
- (15) Goovaerts P. *Geostatistics for Natural Resources Evaluation (M)*. London: Oxford University Press, 1997.

Study on Statistical Downscaling of Air Temperature in West China

CHAO Zhen-hua^{1,2}

- (1. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;
2. College of Geographical Science, Nantong University, Nantong 226007, Jiangsu Province, China)

Abstract: Driving data, such as air temperature, precipitation, wind field, specific humidity and radiation, used in land surface models and land data assimilation system, can be derived using the reanalysis datasets from downscaling. In this study, the statistical downscaling of air temperature data was analyzed based on calculating the observation error covariance in west China using geostatistics, estimating the background error covariance using innovation vector method, and interpolating the daily air temperature data with spatial resolution $0.125^\circ \times 0.125^\circ$ in 2000 using optimal interpolation, and the precision of the analyzed air temperature field was also analyzed. The results show that the analyzed daily air temperature can well reflect the change of air temperature in west China and be directly used in land surface models under the gentle topographical conditions. For the Qinghai-Tibetan Plateau, however, quality of the analyzed air temperature was poor due to the effect of the topography and distribution of weather stations, but it was increased to some extent compared with the reanalyzed data.

Key words: air temperature; downscaling; land surface models; daily air temperature; west China