中国地面气温 0.5 °×0.5 °格点数据集(V2.0)

评估报告

国家气象信息中心

2012年8月

| 目 | 录 | |
|---|---|--|
| | | |

| 1 概述 | 1 |
|-------------------|----|
| 2 资料和方法 | 1 |
| 2.1 资料简介 | 1 |
| 2.2 TPS 空间插值方法 | 3 |
| 2.3 评估方法及评估指标 | 4 |
| 3数据评估与分析 | 4 |
| 3.1 交叉验证 | 4 |
| 3.2 误差分析 | 8 |
| 3.2.1 误差统计量分布 | 8 |
| 3.2.2 误差统计量的季节差异 | 9 |
| 3.3 插值试验 | 10 |
| 3.3.1 不同站网密度的插值试验 | 10 |
| 3.3.2 孤立高山站的交叉验证 | 11 |
| 4 主要结论 | 13 |
| 参考文献 | 15 |

中国地面气温 0.5 °×0.5 °格点数据集(V2.0)

评估报告

1 概述

高分辨率、格点化的气候数据,尤其是气温和降水,在天气气候变化研究中 具有极其重要的作用。国家气象信息中心基于基础资料专项最新整编的中国2472 个(剔除西沙和珊瑚2个远海海岛站)国家级地面气象站基本气象要素资料,利 用薄盘样条法 (TPS, Thin Plate Spline)结合三维地理空间信息进行空间插值,建 立1961年1月以来的中国地面水平分辨率0.5 %0.5 的日、月值气温格点数据。在 此基础上从交叉验证和误差分析角度对格点数据进行评估分析,为气温格点数据 在天气气候变化相关研究中应用提供一定参考依据。

选取2007-2009年气温观测数据,采用广义交叉验证方法评判插值模型的效 果,得到适合中国地区气温分布型的曲面拟合模型。在此基础上,基于1961-2010 年气温格点数据,通过平均偏差、平均绝对误差、均方根误差(RMSE)等评估 指标全面分析气温格点数据的误差分布及其季节差异。统计结果表明:(1)所用 的插值模型对气温场的插值效果较好,2007年1月-2009年12月平均、最高、最低 气温的广义交叉验证值的平方根(RTGCV)主要集中在0.4-1.2℃间。(2)格点 气温数据的插值精度较高。1961-2010年累年平均的平均、最高、最低气温的分 析值(插值结果)相对于观测值的平均偏差主要集中在±0.2℃间,RMSE变化范 围为0.2-0.5℃。误差统计量随季节的变化特征较明显,RTGCV、RMSE值在冬季 最大、春秋次之、夏季最小。

2 资料和方法

2.1 资料简介

(1)中国国家级地面气象站气温资料

格点化所用资料是1961年1月以来的全国国家级台站(基本、基准和一般站) 的气温观测资料,该资料来源于各省、市、自治区气候资料处理部门逐月上报的 《地面气象记录月报表》信息化资料,由国家气象信息中心基础资料专项收集、 整理,并经过严格的检查和审核。

自建站以来,全国许多台站经过了业务改革、台站迁移、更迭等历史变迁, 至1961年台站总数稳定超过2000站,70年代末期后台站数达到2400站左右(图1)。 剔除2个远海海岛站(西沙和珊瑚)外,截至2010年全国累计共有2472个国家级 台站,其空间分布如图2所示,我国东部地区台站相对比较密集且分布均匀,西 部和内蒙部分地区台站分布相对稀疏。以2010年数据为例(图3),统计单位网格 内站点数可知,全国0.5 %0.5 %网格内站点覆盖率为38%,而东部地区(40 %以南, 100 ℃以东)高达77%。



图 2 1961-2010 年中国地面 2472 个台站空间分布



图 3 2010 年全国 2421 站单位网格内站点数(0.5 % 0.5 % oxes)

(2)高程数据

气温的空间分布受海拔的影响显著,格点化过程充分考虑海拔因子,利用 GTOPO30数据(分辨率为30″×30″)重采样生成中国陆地0.5 ∞0.5 的数字高程模 型数据(DEM)。

2.2 TPS 空间插值方法

局部薄盘光滑样条方法,除普通的样条自变量外,可引入线性协变量子模型, 如气温和海拔之间、降水和海岸线的关系等,其理论统计模型表述如下:

$$\mathbf{z}_i = f(\mathbf{x}_i) + b^T \mathbf{y}_i + \varepsilon_i \quad (i=1,\dots, \mathbf{N})$$
(1)

z_i是位于空间i点的因变量; x_i为d维样条独立变量,f是要估算的关于x_i的未 知光滑函数; y_i为p维独立协变量;b为y_i的p维系数;ε_i为具有期望值为0且方差 为w_iσ²的自变量随机误差;w_i是作为权重已知的局部相对变异系数,σ²为误差 方差,在所有数据点上为常数,但通常未知。

澳大利亚科学家Hutchinson基于薄盘样条理论编写的针对气候数据曲面拟 合的专用软件ANUSPLIN,软件提供了一系列统计参数:平均值、方差、标准差、 拟合曲面参数的信号自由度(Signal)、光顺参数(RHO)、广义交叉验证(GCV) 和均方误差(MSE)的平方根。Signal指示了拟合曲面的复杂程度,被用于判断曲面 拟合的质量。RHO非常小和Signal达到最大(等于节点数)或者相反都预示着拟合 过程找不到光顺参数的优化值,说明数据点可能过于稀疏。在以月为单位拟合曲 面时,Signal的值应有平稳的月间过渡。明显地背离过渡趋势意味着该月插值曲 面可能存在系统误差。最佳模型的判别标准:GCV最小和信噪比SNR(信号自由 度与剩余自由度之比)最小。一般Signal应小于站点的一半,即SNR<1。

制作平均、最高、最低格点产品时,选择三变量局部薄盘光滑样条函数(经 度、纬度和海拔高度为自变量),样条次数设置为2。

2.3 评估方法及评估指标

为了检验插值方法和插值模型对气温场的插值效果,采用广义交叉验证 (Generalized Cross-Validation:GCV)的方法进行评估,首先假设每个站点的观 测值未知,用周围站点的值来估算,然后根据所有站点实际观测值与估算值的误 差大小评判插值方法的优劣。GCV 的平方根(RTGCV)由观测数据误差和预测 数据误差两部分组成,而 MSE 的平方根(RMSE)是剔除观测数据误差后的预 测误差估计,相当于插值过程的真实误差。另外,数据本身的误差也会造成 GCV 偏大。

采用平均偏差(Mean Bias Error, MBE)、绝对偏差(Mean Absolute Error, MAE)、均方根误差(Root-Mean-Square Error, RMSE)等作为评估插值效果的指标,值越小,表面插值效果越好。具体计算公式如下:

$$MBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} (P_i - O_i)$$
 (2)

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} |(P_i - O_i)|$$
(3)

RMSE =
$$\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} (P_i - O_i)^2}$$
 (4)

其中, *P_i*和*O_i*分别表示第*i*点上经过插值后的值和台站原始观测值, N 为统计 样本数。

3数据评估与分析

3.1 交叉验证

选取 2007-2009 年全国参与格点化的每个站点做交叉验证,根据所有站点广

义交叉验证值的平方根(RTGCV)评判插值模型的优劣。图 4 给出了 2007 年 1 月-2009 年 12 月平均气温、最高气温和最低气温的 RTGCV 随时间演变情况。可 以看出,总体上平均、最高、最低气温的 RTGCV 变化比较一致,且存在明显的 季节变化特征。即 RTGCV 冬季最大,春秋次之,夏季最小。这主要是由不同季 节的气温变率不同导致的,冬季气温变化幅度最大,春秋次之,夏季最小。从 3 个要素看,RTGCV 的变化幅度最低气温最大,平均气温次之,最高气温最小。 这与平均、最高、最低气温的均方差变化一致(图略)。其中,2007 年 1 月-2009 年 12 月平均气温的 RTGCV 主要在 0.4-0.8℃间波动,最高气温的 RTGCV 主要 在 0.5℃上下浮动,最低气温的 RTGCV 变化范围为 0.6-1.2℃。



图 4 2007 年 1 月-2009 年 12 月平均、最高、最低气温 RTGCV 的逐月变化

分别统计 2007-2009 年全国约 2400 站交叉验证中分析值和观测值的平均偏差。从平均、最高、最低气温的分析值与观测值的平均偏差分布可以看出(图 5), 总体上全国各要素的平均偏差主要集中在±0.6℃间。平均气温、最低气温的平均 偏差部分地区较大,主要分布在我国的云南北部、新疆北部、黄河河套和东北的 东部等地区。此外,统计分析了 2007-2009 年平均、最高、最低气温的分析值与 观测值的平均偏差频率(图 6)。从图 6 可以看出,平均偏差的频率分布呈明显 的正态分布,且 62%以上的平均偏差集中在±0.6℃间,与空间分布情况一致。



图 6 2007 年 1 月-2009 年 12 月气温分析值相对于观测值的平均偏差的频率分布

为分析台站空间密度和地形对插值误差的影响,图 7-8 给出了交叉验证中全国各站分析值相对于观测值的平均绝对偏差(MAE)随台站空间密度和海拔高度的变化。以站点为圆心,统计各站 0.25 度半径内的其他站点个数(密度)。从台站空间密度来看,全国约 1100 个站点 0.25 度半径内的无其他站点。分析值相

对于观测值的平均绝对偏差随着 0.25 度半径内站点数的增加逐渐减少,站点密 度达 2 个站点开始平均绝对偏差稳定在 0.32℃,之后随着站点密度的增加平均绝 对偏差略有增加。说明误差随站点空间密度的增加而减少,但过密的站网密度容 易引入小尺度的虚假信息。从站点的海拔高度看,全国约 1500 个站点海拔高度 在 500 米以下,分析值相对于观测值的平均绝对偏差随着站点海拔高度的升高逐 渐增加,可见交叉验证中地形可带来的插值误差较大。



图 8 交叉验证中全国各站误差平均绝对偏差随海拔高度的变化

3.2 误差分析

3.2.1 误差统计量分布

(1) 平均偏差

为反映格点数据的平均误差,图9给出了1961-2010年累年平均的平均、最高、最低气温的分析值与观测值的平均偏差的分布。总体上,全国各要素的平均偏差主要集中在±0.2℃间。平均气温、最低气温的平均偏差部分地区较大,主要分布在我国的云南北部、新疆北部、黄河河套和东北的东部等地区。此外,统计分析了1961-2010年平均、最高、最低气温的分析值与观测值的平均偏差频率(图10)。可以看出,平均偏差的频率基本呈正偏态分布,且50%以上的平均偏差集中在±0.2℃间,与空间分布情况一致。



图 9 1961 年 1 月-2010 年 12 月分析值相对于观测值的气温平均偏差空间分布(单位: ℃) (a-c 分别为平均、最高、最低气温)



图 10 1961 年 1 月-2010 年 12 月分析值相对于观测值的平均、最高、最低气温的平均偏 差的频率分布

(2) 均方根误差

统计 1961-2010 年平均、最高、最低气温的均方根误差随时间的演变情况, 由图 11 可知,平均、最高、最低气温的 RMSE 变化比较一致。从 1961-1963 年, RMSE 呈明显下降趋势,1963 年以后,平均、最高、最低气温的 RMSE 变化比 较稳定,且存在明显的季节变化特征。即 RMSE 冬季最大,春秋次之,夏季最 小。从 3 个要素的 RMSE 变化幅度看,最低气温最大,平均气温次之,最高气 温最小。其中,平均气温的 RMSE 主要在 0.2-0.3℃间波动,最高气温的 RMSE 主要在 0.25℃上下浮动,最低气温的 RMSE 变化范围为 0.2-0.5℃。



图 11 1961 年 1 月-2010 年 12 月分析值相对于观测值的平均、最高、最低气温均方根误 差的逐月变化

3.2.2 误差统计量的季节差异

误差统计量随季节的变化特征较明显,表1-3统计了平均、最高、最低气温

在不同季节的 RTGCV、RMSE 值。这里采用季节的特征月表示该季节。从统计结果看,RTGCV、RMSE 值在冬季最大、春秋次之、夏季最小。这与各季节平均气温、最高气温、最低气温的均方差(SD)变化一致。

此外,我们还可以发现,最低气温的 RTGCV、RMSE 值最大、平均气温次之、最高气温最小。同样和同一时期平均气温、最高气温、最低气温的均方差大小一致。这主要由于同一时期最低气温的变率最大,其次是平均气温,最高气温的变率最小导致的。

表1 各季节平均气温的误差统计表(单位: ℃

| month | SD | RTGCV | RMSE |
|-------|------|-------|------|
| Jan | 9.18 | 0.71 | 0.32 |
| Apr | 5.21 | 0.48 | 0.21 |
| Jul | 4.15 | 0.42 | 0.19 |
| Oct | 5.92 | 0.51 | 0.22 |
| | | | |

表 2 各季节最高气温的误差统计表 (单位:℃)

| month | SD | RTGCV | RMSE |
|-------|------|-------|------|
| Jan | 8.49 | 0.57 | 0.27 |
| Apr | 4.68 | 0.54 | 0.25 |
| Jul | 3.87 | 0.51 | 0.23 |
| Oct | 5.20 | 0.45 | 0.20 |

表 3 各季节最低气温的误差统计表 (单位:℃)

| month | SD | RTGCV | RMSE |
|-------|-------|-------|------|
| Jan | 10.16 | 1.11 | 0.50 |
| Apr | 6.29 | 0.79 | 0.33 |
| Jul | 4.72 | 0.60 | 0.26 |
| Oct | 6.88 | 0.84 | 0.35 |

3.3 插值试验

3.3.1 不同站网密度的插值试验

观测站网的密度是影响插值误差的主要原因之一,我国观测站网分布不均, 总体呈现东部密集西部稀疏的分布特征。为了解不同站网密度对插值的影响,我 们选取 2001-2010 年长江流域(110-123 N, 28-33 E)的基本、基准站(约 200 站)和所有国家级站(包括基本、基准站和一般站,约 310 站)两组不同站网密度的月平均气温数据进行插值试验。统计结果表明,所有月份的高密度站网的 RTGCV 值均小于低密度站网(图 12)。除 2001 年 1 月外,长江流域高密度站网的 SNR 值均低于 1,且表现出平稳的月际间过度。与高密度站网的 SNR 值相比,低密度站网的 SNR 值部分月大于 1,且波动较大(图 13)。说明部分月份数据站点的密度不能够满足插值的需求。



图 13 2001-2010 年不同站网密度的平均气温信噪比随时间变化

3.3.2 孤立高山站的交叉验证

从 3.1 节可知, 交叉验证中地形可带来的插值误差较大。为进一步验证地形 对插值的影响, 选取 13 个 0.5 度范围内孤立的高山站进行交叉验证试验, 孤立 高山站空间分布如图 14 所示。从统计结果可知, 无高山站所导致的平均偏差以 负值为主, 无高山站下的绝对偏差均大于有高山站, 部分无高山站下的绝对偏差 相对与有高山站高达 5 倍。说明有、无高山站, 对高山站本身的插值误差影响很 大。

此外,从格点数据分析孤立高山站对周围格点的影响,图 15 给出了 1-box、 9-box、25-box 不同格点范围内有、无高山站下两组交叉验证结果的平均偏差频 率分布。可以看出,平均偏差的频率基本呈的负偏态分布,且随着面积的增大平 均偏差的范围逐渐缩小。说明有、无高山站,对高山站周围格点的插值误差有影 响,且对周围格点的影响随距离衰减。



图 14 中国东部地区孤立高山站空间分布

| 省份 | 立日 夕 | MBE (℃) | | MAE (°C) | |
|------|-------------|---------|-------|----------|------|
| | 如石 | 有高山站 | 无高山站 | 有高山站 | 无高山站 |
| 山西省 | 五台山 | -0.26 | -0.94 | 0.36 | 1.55 |
| 河北省 | 阜平 | -0.37 | -0.44 | 0.49 | 0.85 |
| 黑龙江省 | 绥芬河 | -0.29 | -0.37 | 0.74 | 0.95 |
| 山东省 | 泰山 | 0.06 | 0.02 | 0.24 | 1.16 |
| 四川省 | 峨眉山 | 0.54 | 2.03 | 0.58 | 2.31 |
| 陕西省 | 华山 | -0.26 | -1.18 | 0.34 | 1.54 |
| 河南省 | 嵩山 | 0.04 | -0.34 | 0.28 | 0.99 |
| 河南省 | 鸡公山 | 0.03 | 0.03 | 0.35 | 1.02 |
| 湖南省 | 南岳 | 0.06 | 0.20 | 0.28 | 1.16 |
| 安徽省 | 天柱山 | -0.04 | -0.02 | 0.28 | 0.65 |
| 安徽省 | 黄山 | -0.08 | -0.53 | 0.23 | 1.25 |
| 江西省 | 庐山 | -0.08 | -0.26 | 0.24 | 0.88 |
| 福建省 | 九仙山 | -0.13 | -0.61 | 0.30 | 1.39 |

表 4 孤立高山站交叉验证的误差统计



图 15 孤立高山站周围格点有、无高山站的平均偏差频率分布

4 主要结论

利用薄盘样条法对中国1961年1月以来的中国地面国家级台站气温观测资料 进行空间插值,建立中国地面水平分辨率0.5 %0.5 °的日、月值气温格点数据,并 选取1961-2010年的格点数据进行质量评估。主要结论如下:

(1) 根据交叉验证结果, 2007年1月-2009年12月平均气温的 RTGCV 主

要在 0.4-0.8℃间波动,最高气温的 RTGCV 主要在 0.5℃上下浮动,最低气温的 RTGCV 变化范围为 0.6-1.2℃。说明所用的插值模型对气温场的插值效果较好。

(2) 1961-2010年累年平均的平均、最高、最低气温的分析值(插值结果) 与观测值的平均偏差主要集中在±0.2℃间,平均气温的RMSE主要在0.2-0.3℃间 波动,最高气温的RMSE主要在0.25℃上下浮动,最低气温的RMSE变化范围为 0.2-0.5℃。可以认为,格点气温数据的插值精度较高。

(3)误差统计量随季节的变化特征较明显, RTGCV, RMSE 值在冬季最大、 春秋次之、夏季最小,与平均、最高、最低气温的均方差变化一致。

(4)台站的空间密度和地形对插值误差的影响较大,经插值试验选择 2400 站数据和增加小地形地区的台站可提高空间插值效果和减小插值误差。

14

参考文献:

- [1] Peterson T C, Vose R S. 1997. An overview of the global historical climatology network temperature database. Bulletin of the American Meteorological Society, 78(12): 2837-2849
- [2] Vose R S, Schmoyer R L, Steurer P M, et al. 1992. The Global Historical Climatology Network: Long-term monthly temperature, Precipitation, sea-level pressure, and station pressure data. ORNL, 325
- [3] Hulme M. 1992. A 1951-80 global land precipitation climatology for the evaluation of general circulation models. Climate Dyn, 7(1): 57-72
- [4] Hansen J, Lebedeff S. Global trends of measured surface air temperatures1987. J Geoghy Res, 1987, 92: 13345-13372
- [5] Hansen J, Lebedeff S. Global surface air temperatures: updat ethough 1987. Geophy Res Lett, 1988, 15: 323- 326
- [6] Hutchinson M F. ANUSPLIN Version4,3 UserGuide [M]. Canberra: The Australia National University, Center for Resource and Environment Studies2004. http://cres. anu.edu.au/outputs/anusplin.php
- [7] Hutchinson M F. The application of thinplate splines to continent-wide data assimilation, Data Assimilation Systems, BMRC Research Report NO.27 [M]. Me-lbourne: Bureau of Meteorology, 1991: 104-113.
- [8] Price D T, McKenney D W, Papadopol P, et al. Highresolution future scenario climate data for NorthAmerica [A]. American Meteorological Society AnnualMeetings, Vancouver. 2004.
- [9] Hijmans R J, Cameron S E, Parra J L, et al. Veryhigh resolution interpolated climate surfaces for globalland areas [J]. International Journal of Climatology.2005, 25: 1965-1978.