

变分分析技术在城市气象资料分析中的应用

梁旭东 阴俊梅 珏

(上海市气象科学研究所, 上海 200030)

提 要

随着城市气象研究和城市气象服务的深入开展,越来越需要分辨率更高、精度更高的观测资料,同时,随着城市气象观测网的不断完善,已能提供较多的常规和非常规观测资料。为了得到更完善的气象要素分布场,首先应对这些常规和非常规观测资料进行客观分析。使用上海市的气象哨、常规气象观测站的观测资料和上海市的地表分类信息,对变分分析技术进行了应用实验。

关键词: 变分分析 气象资料 城市气象

引 言

随着城市建设步伐的不断加快和人民生活水平的不断提高,人们越来越关心所居住城市的环境状况,越来越关注所居住城市的气象条件,这也就对城市气象研究和城市气象服务提出了更高的要求。为了深入地开展城市气象研究和城市气象服务,需要有分辨率更高、精度更高的城市气象观测资料。上海市气象局较早地开始了城市气象观测网的建立和完善。现在上海市已有常规气象观测站12个(宝山,龙华,浦东,闵行,青浦,松江,金山,奉贤,陈家镇,引水船,南汇,嘉定),自动雨量站36个,雾的自动观测站(包括能见度、风、温、湿等的观测)16个,气象哨10个,WSR-D88多普勒雷达1部和其它常规雷达,以及大量的卫星遥感资料,另外即将引进风廓线仪一台,还将在浦东安装6个自动气象站、21个自动雨量站,在南汇安装25个自动雨量站。这些丰富的城市气象观测资料为上海市进行城市气象研究提供了有利的条件。但当使用这些资料时会发现,它们的空间分布很不均匀(如自动观测站大多沿黄浦江分布),观测精度各不相同(如气象观测哨的下垫面有水泥地面和草地,观测环境也各不相同)。在利用这些资料进行城市气象研究和

城市气象服务中首先遇到的一个问题是:如何利用现有的资料得到气象要素场的更完整更详细的分布。对此较有效的解决方法是进行资料客观分析。在资料分析技术中,变分分析技术有较好的理论基础和广阔的应用前景,它能从各种相关资料中提取有用的信息,同时能方便地使用各种约束条件来得到满足一定要求的气象要素场。

上海市自有气象记录以来的最高气温是1934年7月12日的40.2℃,1998年8月15日上海市龙华站的最高气温39.4℃,超过了1953年8月25日和26日的38.9℃,成为1934年以来的最高气温纪录。本文使用变分分析技术,利用气象观测哨和常规气象观测站的资料以及根据上海市的地表分类重建了上海市1998年8月15日14时的气温分布图。

1 变分分析技术简介

变分分析技术通过求解以下方程来得到分析场^[1,2]

$$J = J_0 + J_1 + J_2$$

J 为价函数,这里将其分为三项 J_0 、 J_1 和 J_2 ,其中的第一项

$$J_0 = \iint_{x,y} A(T - T^0)^2 dx dy$$

式中 T 代表分析场, T^0 代表观测值, 该项目的目的是使分析场与观测值接近; 第二项

$$J_1 = \iint_{xy} \left[B \left(\frac{\partial T}{\partial x} - \frac{\partial L}{\partial x} \right)^2 + C \left(\frac{\partial T}{\partial y} - \frac{\partial L}{\partial y} \right)^2 \right] dx dy$$

式中 L 为梯度参考场, 该场可以是非常规气象观测资料或其它与 T 相关的资料, 该项目的目的是使分析场 T 的梯度分布与场 L 的梯度

$$\delta J = \iint_{xy} \left[2A(T - T^0) + 2B \left(\frac{\partial T}{\partial x} - \frac{\partial L}{\partial x} \right) + 2C \left(\frac{\partial T}{\partial y} - \frac{\partial L}{\partial y} \right) + 2D \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \right] \delta T dx dy$$

当价函数达到极小时必有 $\delta J / \delta T = 0$ 也即:

$$\iint_{xy} \left[2A(T - T^0) + 2B \left(\frac{\partial T}{\partial x} - \frac{\partial L}{\partial x} \right) + 2C \left(\frac{\partial T}{\partial y} - \frac{\partial L}{\partial y} \right) + 2D \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \right] dx dy = 0$$

将该方程离散化, 使用迭代法求解该方程即可得到分析场 T 。

2 观测资料分布情况

资料分析时选取的区域如图 1。

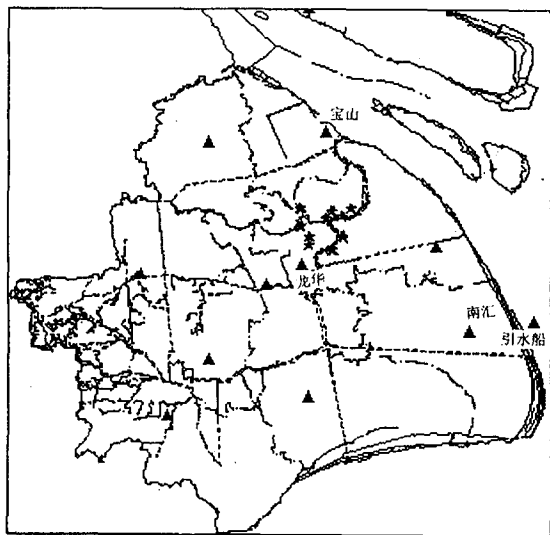


图 1 资料分析时选取的区域

★气象哨 ▲常规观测站

上海市的 10 个气象哨的分布如图 1 中 ★, 13 个常规观测站的分布如图 1 中 ▲, 1998 年 8 月 15 日 14 时各观测站的气温观测值见表 1。

分布接近, 第三项

$$J_2 = \iint_{xy} D \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right)^2 dx dy$$

为罚项, 目的是对分析场 T 进行平滑。A、B、C、D 为权重系数, 各系数的相对大小决定了各项在价函数中的相对重要性。求解此价函数即可得到数值与 T^0 接近、梯度分布与 L 接近的较光滑的分析场。

价函数 J 的一阶变分为:

3 分析结果

首先取价函数的第 1、3 项约束, 价函数为:

$$J = J_0 + J_2$$

其中第 1 项

$$J_0 = \iint_{xy} A(T - T^0)^2 dx dy$$

第 3 项 $J_2 = \iint_{xy} D \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right)^2 dx dy$, 使用该项目的目的是减小分析场的二阶导数, 这等于线形插值, 但其不同点是在得到分析场中每一点的值时都考虑到了全场的要素分布信息, 所以这样得到的气温分布图较平滑, 因而能在一定程度上订正观测误差, 同时在分析时对误差较大的观测值, 其相应的权重 A 取较小的值, 可减小其在价函数中占的比重。将权重 A 取 1, D 取 1 时得到的气温分布如图 2。

该分布图明显地反映出了城市的热岛效应, 上海市中区有 38.5°C 以上的高温区, 从城区往市郊温度逐渐降低。但从图 2 也可看出, 由于以上得到的气温分布较平滑, 没有能反映出与上海市的特殊地理位置相应的气温分布状况。

表1 上海市1998年8月15日14时各测站气温观测值

常规观测站		气象哨	
站名	T/°C	站名	T/°C
嘉定	35.7	外高桥保税区	37.6
崇明	33.7	卢湾中学	38.8
青浦	36.5	风华中学	缺测
闵行	37.0	杨浦	缺测
引水船	31.1	杨树浦水厂	38.7
川沙	36.1	继光中学	38.7
南汇	35.9	田林二中	38.0
金山	35.8	洋泾中学	38.5
松江	35.5	62中学	38.7
奉贤	35.6		
浦东新区	37.3		
龙华	39.0		
宝山	37.3		

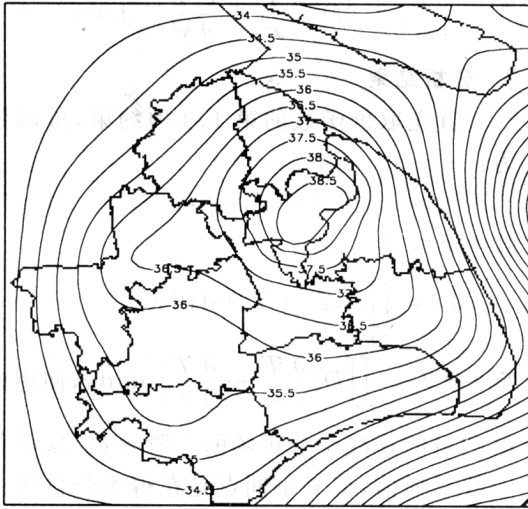


图2 使用第1、3项约束得到的气温分布

由于城市气温分布与城市下垫面分布有密切的关系,上海市北依长江,东临大海,因此其气温分布更为复杂。为了考虑因城市下垫面状况的水平分布引起的气温的水平变化,在进行分析时同时使用了价函数中的第1、2和3项,取价函数为:

$$J = J_0 + J_1 + J_2$$

其中第1项和第3项与以上的分析相同,第2项

$$J_1 = \iint_{xy} \left[B \left(\frac{\partial T}{\partial x} - \frac{\partial L}{\partial x} \right)^2 + C \left(\frac{\partial T}{\partial y} - \frac{\partial L}{\partial y} \right)^2 \right] dx dy$$

中, $\frac{\partial T}{\partial x}$ 和 $\frac{\partial T}{\partial y}$ 为分析场的梯度。由于气温的高低与下垫面类型和周围环境有密切的关系,因而气温的水平分布与下垫面类型的水平分布有较好的对应关系。这里将上海市的地表类型分为三类,市区、市郊和水域,这样将 $\frac{\partial L}{\partial x}$ 和 $\frac{\partial L}{\partial y}$ 取为与地表类型相关的气温分布的梯度。对上海地区进行粗略的分类(如图3),再将相同地表类型之间的气温分布梯度定为:

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 0^\circ\text{C}/\text{km} \quad \frac{\partial T}{\partial y} = 0^\circ\text{C}/\text{km}$$



图3 本文对上海地区地表进行的分类

由于没有较详尽的观测资料,对城镇到郊区农田和郊区农田到水体以及城镇到水体之间的气温分布梯度进行了估计。引水船位于长江口的江中,其观测温度为31.1°C,将其作为水体的代表温度。南汇站靠近长江口,其观测温度为35.9°C,将其作为郊区农田的代表温度(由于观测站设在郊区城镇,因而其温度比郊区农田温度偏高)。宝山站位于城镇同时靠近长江,其观测温度为37.3°C,将其作为城镇的代表温度。由以上各代表温度得到郊区农田与水体的温差为4.8°C,城镇到水体的温差为6.2°C。分析时使用的网

格距为 2km,因而取梯度分别为 2.4°C/km 和 3.1°C/km。但这样得到的郊区农田与水体的温度梯度和城镇与水体的温度梯度相差不大,同时考虑到郊区农田的代表温度偏高,因而将城镇到郊区农田和郊区农田到水体之间的气温分布的梯度定为:

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 1.5^\circ\text{C}/\text{km}, \quad \frac{\partial T}{\partial y} = 1.5^\circ\text{C}/\text{km},$$

城镇到水体之间的气温分布梯度定为:

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 3.0^\circ\text{C}/\text{km}, \quad \frac{\partial T}{\partial y} = 3.0^\circ\text{C}/\text{km}.$$

气温的这种阶梯分布可将不同类型的地表的气温区分开来,但实际情况中气温是连续分布的而不是在交界处的阶梯分布,这就需要考虑价函数中的第 3 项的平滑作用,这两者的共同作用将得到既能将不同类型的地表的气温区分开而又较连续的气温分布。而气温的分布值又受到价函数中第 1 项的约束,在有观测资料的地方得到的分析值要接近观测值。可见观测资料越多,得到的气温分布越真实,这也是资料分析的目的,即在现有的资料的基础上尽量考虑更多的约束条件以得到可信度更高的分析场。

根据实验将权重系数 A 、 B 、 C 、和 D 取为 5.0、1.0、1.0 和 5.0,这样得到的 1998 年 8 月 15 日 14 时上海市气温分布如图 4。在图中,城市的热岛效应清晰地反映了出来,气温由市区向市郊递减。同时在该图中气温的分布更细致,有了气温从城镇到郊区、郊区到水体的明显变化,而在市中区,气温的变化也更详细,有两个 39°C 以上的高温区,市区的各等温线也不再是光滑的。可见在这张图中提供了上海市 1998 年 8 月 15 日 14 时的气温的更完整更详细的水平分布。

使用同样方法对 1998 年 8 月 15 日 02 时上海市的气温观测资料进行了分析,得到的气温分布如图 5。可见在夜间,城市的热岛效应减弱,与市郊的温差和范围都比白天小。

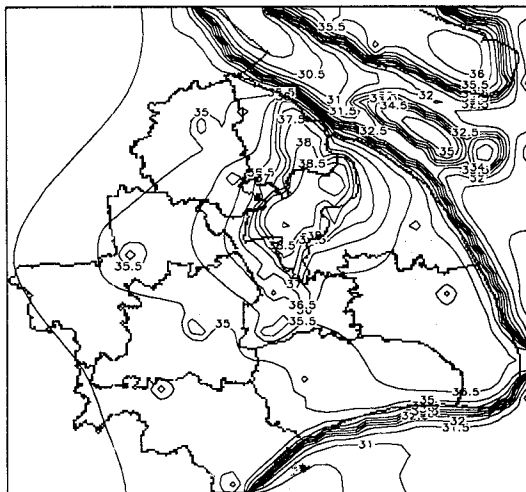


图 4 考虑上海市地表分类得到的气温分布
(1998 年 8 月 15 日 14 时)

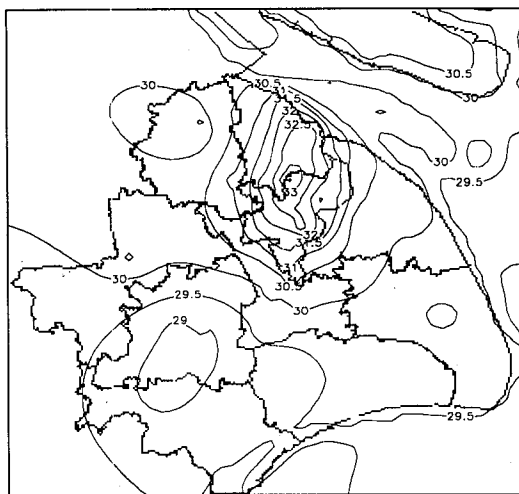


图 5 考虑上海市地表分类得到的气温分布
(1998 年 8 月 15 日 02 时)

4 结 论

变分分析技术能从各种相关资料中提取有用的信息,同时能方便地使用各种约束条件来得到满足一定要求的气象要素场。在以上的实验中利用变分分析技术在考虑地表分类信息的基础上对气象哨和常规气象站的观测资料进行分析,得到了 1998 年 8 月 15 日 02 时和 14 时的较为详细的气温分布。在考

考虑地表分类信息后得到的分析结果较好地反映了气温的水平分布,这表明变分分析技术是使用各种观测资料进行城市气象研究和气象服务的一种有力工具。

在以上的实验中对上海市的地表分类是较粗略的,同时与地表分类相关的气温分布的梯度也是实验值,更准确的资料有待于更详尽的观测。在有的区域出现的不太理想的气温值(如崇明岛出现的较高的温度)可能与该地区的观测资料少和与地表分类相关的气温分布的梯度的选取有关,但在观测资料较多的地区,分析结果有较高的可信度。

城市气温的分布还与天气状况、风向等

因素有关,这些因素也可在变分分析技术中作为约束条件给予考虑。由于城市气象的复杂性,而变分分析技术能较方便地考虑各种相关信息,因而在对各种气象资料进行分析时,变分分析技术是一种有力的工具。

参考文献

- 1 Sasaki, Y. K. . A fundamental study of the numerical prediction based on the variational principle. J. Meteor. Soc. Japan, 1955, (33): 30~43.
- 2 Jennifer M. Cram, Michael L. Kaplan. Variational assimilation of VAS data into a mesoscale model; Assimilation method and sensitivity experiments. Mon. Wea. Rev. , 1985, (113): 467~484.

The Application of Variational Analysis Technique to City Weather Data Analysis

Liang Xudong Yin Jun Meijue

(Shanghai meteorological institute, Shanghai 200030)

Abstract

More and more observed data with higher resolution and higher precision are needed in the city weather research and city weather services. Meanwhile, there are a lot of conventional and non-conventional observations are provided along with the development of the city weather observation system. In order to form the more perfect weather element fields with these data, objective analysis technique should be used firstly. The variational data analysis technique is tested based on the observations of meteorological posts, conventional weather stations and land-use categories in Shanghai.

Key Words: variational analysis weather data city weather