

孙朝阳, 邵全琴, 刘纪远, 等. 2011. 城市扩展影响下的气象观测和气温变化特征分析 [J]. 气候与环境研究, 16 (3): 337-346. Sun Chaoyang, Shao Quanqin, Liu Jiyuan, et al. 2011. Characteristics of air temperature change affected by urban expansion in China [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 16 (3): 337-346.

城市扩展影响下的气象观测和气温变化特征分析

孙朝阳^{1,2,3} 邵全琴¹ 刘纪远¹ 匡文慧¹

1 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101

2 中国科学院研究生院, 北京 100049

3 国家气候中心, 北京 100081

摘要 基于20世纪70年代的MSS (Multi-Spectral Scanner) 影像、1990年前后的TM (Thematic Mapper) 影像、2000年和2005年前后的ETM (Enhanced Thematic Mapper) 影像, 对全国700多个地面气象观测站的历史时期下垫面属性进行判别, 得到中国自上世纪70年代以来“进城”的气象站点, 并通过电话咨询验证, 最终确定“进城”且周边探测环境明显改变、气象观测受到城市化影响的站点。在此基础上, 对中国各气象站点气温观测值的年际和季节变化进行了分析, 通过“进城”站点和全部站点的气温变化趋势的比较, 得出“进城”站点的气温变化率高于全国气象站点的平均变化率, 从而验证了基于遥感影像的气象站点判别的有效性, 并得出“进城”气象站点的气温观测数据在城市环境的影响下比其它站点增长的更多的结论。

关键词 城市扩展 气象站点 “进城” 遥感判别 气温变化特征分析

文章编号 1006-9585 (2011) 03-0337-10 **中图分类号** P412.11 **文献标识码** A

Characteristics of Air Temperature Change Affected by Urban Expansion in China

SUN Chaoyang^{1,2,3}, SHAO Quanqin¹, LIU Jiyuan¹, and KUANG Wenhui¹

1 *Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101*

2 *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049*

3 *National Climate Center, Beijing 100081*

Abstract The underlying surface of more than 700 national meteorological stations in different historical periods is distinguished based on the MSS (Multi-Spectral Scanner) images of the 1970s, TM (Thematic Mapper) images around 1990, and ETM (Enhanced Thematic Mapper) images around 2000 and 2005. The stations with apparent changes in their underlying surface and surrounding building environment are picked out and verified by telephone consultation. Based on the discriminant result, annual and seasonal change characteristics of air temperature are analyzed, and it is concluded that the change rate at air temperature of the stations “entering city” is higher than that at the other stations. The result validates the discriminant method based on RS (Remote Sensing) images, and con-

收稿日期 2009-07-13 收到, 2011-02-27 收到修定稿

资助项目 国家科技支撑计划项目 2006BAC08B00, 国家重点基础研究发展规划项目 2009CB421105, 中国科学院知识创新工程重要方向项目 KZCX2-YW-305-3, 中国-瑞典国际合作项目 2006-24724-44416-13

作者简介 孙朝阳, 男, 博士, 工程师, 研究方向为城市遥感和GIS. E-mail: sunchaoy@cma.gov.cn

通讯作者 邵全琴, E-mail: shaoqq@lreis.ac.cn

forms that the observed air temperature at the stations “entering city” increase more than the other stations affected by the urban circumstance.

Key words urban expansion, meteorological stations “entering city”, remote sensing discriminant, characteristic analysis of air temperature change

1 引言

地面气象观测数据长期以来广泛应用于生产、生活和科学研究各个领域,除了气象和气候研究以外,还在遥感参数反演的地面验证、生态模型驱动、生态环境评估等研究中扮演着重要的角色(赵天保等,2004;杨虎和杨忠东,2006;徐新良等,2007;朱怀松等,2007)。地面气象观测数据的准确性直接影响了这些研究的开展和可信度,而地面气象观测非常容易受到下垫面环境状态改变等因素的影响。因此,研究气象站点下垫面环境的历史变迁及其对地面气象观测的干扰具有重要的意义(He et al.,2007)。

中国自1951年以来在全国各地共建设了700多个基本、基准气象观测站,到2008年总数已增加至756个。在这期间,许多台站发生过业务改变、台站迁移等,有的已经撤站取消,有的是新建站点,2008年尚在业务运行的有727个(李庆祥和李伟,2007)。

中国气象局(2003)在其先后颁布的《地面气象观测规范》中规定,气象站点在选址时必须符合观测技术上的要求,应设在能较好地反映本地较大范围气象要素特点的地方,避免局部地形的影响。但是,中国自实行改革开放政策以来,整个社会经济高速发展,特别是城市建设和城市化进程日益加快,20世纪70年代末以后,气象站点逐步经历了被动“进城”的过程。特别是东部沿海和经济发展较快的地区,原本处于郊区或城市边缘的气象站点逐渐被高大密集的建筑包围起来,从而影响了气象站点的观测环境,使得观测数据逐渐失去区域上的代表性。观测环境的破坏严重影响到气象数据的代表性和连续性,从而影响到气象数据服务本身以及其它科学研究,带来不同程度的误差甚至是错误(Kalnay and Cai,2003;任慧龙等,2004;Li et al.,2004)。

世界气象组织对气象数据收集的一个最基本

技术要求是气象站的站址要基本固定,只有站址固定,气象数据才能进行历史对比、分析,得出的气象信息才符合准确性、连续性、可比性和代表性的要求。然而,中国的气象站点在经历被动“进城”以后,一方面受到城市化带来的各种环境效应的干扰,另一方面,气象站也面临着被迫搬家的局面。这两种情况都会给气象观测的连续性带来一定程度的影响。

本研究以中国的基本、基准气象站点为对象,采用遥感影像的人工判读方式,对气象站点自上世纪70年代以来下垫面的变化情况进行全面的调查和研究。在此基础上,分析对比“进城”和未“进城”站点的气温变化特征,以此来揭示气象站点“进城”对气象观测的影响。

2 气象站点下垫面判别

2.1 数据

2.1.1 遥感影像

本研究收集到20世纪70年代末的MSS(Multi-Spectral Scanner)影像、1990年前后的TM(Thematic Mapper)影像、2000年和2005年前后的ETM(Enhanced Thematic Mapper)影像,一部分数据来自中国科学院资源环境数据中心,一部分是通过美国马里兰大学提供的镜像下载得到。影像数据覆盖了全国气象站点,是判别气象站点下垫面属性的主要依据。

2.1.2 中国地面气候资料

本研究采用的气温数据是由中国气象局提供的中国地面气候资料日值数据集中全国756个气象站点1951~2007年的逐日气温数据。该数据集还提供了各气象站点的地理位置、观测起始年份以及缺测情况等信息。

该数据经过了严格的质量控制和检查,统计结果经过极值检验和时间一致性检验人工抽查,确保数据无误。

本研究在对气温变化特征进行分析时,选取

了 1978~2007 年有完整记录的 608 个气象站点的数据, 从而保证了所采用数据的完整性, 并对个别出现异常观测值的站点进行了剔除。

2.2 方法

根据中国气象局提供的全国气象站点的地理坐标, 首先对气象站点进行了空间化和投影变换, 使用 GIS 空间位置查询方法查找出气象站点所在的遥感影像图幅编号 (图 1)。本研究中所获取的遥感影像都已进行了理论和人工校正, 并且在以往的研究中得到了很好的验证 (王思远和刘纪远, 2001; 刘纪远等, 2003, 2008; 高志强和刘纪远, 2006), 气象站点的空间分布数据与遥感影像的匹配度比较高。

通过人工判读的方式, 对全国 700 多个气象站点在 20 世纪 70 年代末、1990 年、2000 年和 2005 年几个时期的下垫面属性进行判别。

如图 2 所示, 首先以 2000 年这一期的遥感影像判别为起点。在判别的过程中, 首先排除明显不在城市附近的气象站点, 将其确定为未“进城”站点, 将明显进入城市区域的站点确定为“进城”

站点, 位于城市边缘的站点则暂时定为不确定站点, 将根据该站点的年平均气温变化曲线图和电话咨询的结果进一步确定。

对于未“进城”和不确定的气象站点, 需要进一步应用 2005 年遥感影像来判别, 而已“进城”气象站点则需要继续用 1990 年遥感影像来判别, 以进一步明确其“进城”时期。以此类推, 最终得到 4 类判别结果: 2000 年以后“进城”站点、20 世纪 90 年代“进城”站点、80 年代“进城”站点、70 年代“进城”站点和不能确定的站点。

图 3 和图 4 是各时期“进城”站点的示例, 从影像截图上可以清晰地看到城市边界的扩张和气象站点被动“进城”的过程, 同样它们的年平均气温变化曲线也反映了在相应的“进城”时期年平均气温有明显的增长趋势。图 3 中, 银川站的年平均气温在 1998 年以后基本上保持在 10℃ 以上, 而之前的年平均气温均在 10℃ 以下, 与其周边的非城市站点陶乐相比, 气温变化趋势基本一致, 但是在 2003 年以后银川的年平均气温开始上升, 而陶乐保持稳定; 图 4 中的廊坊站的年平

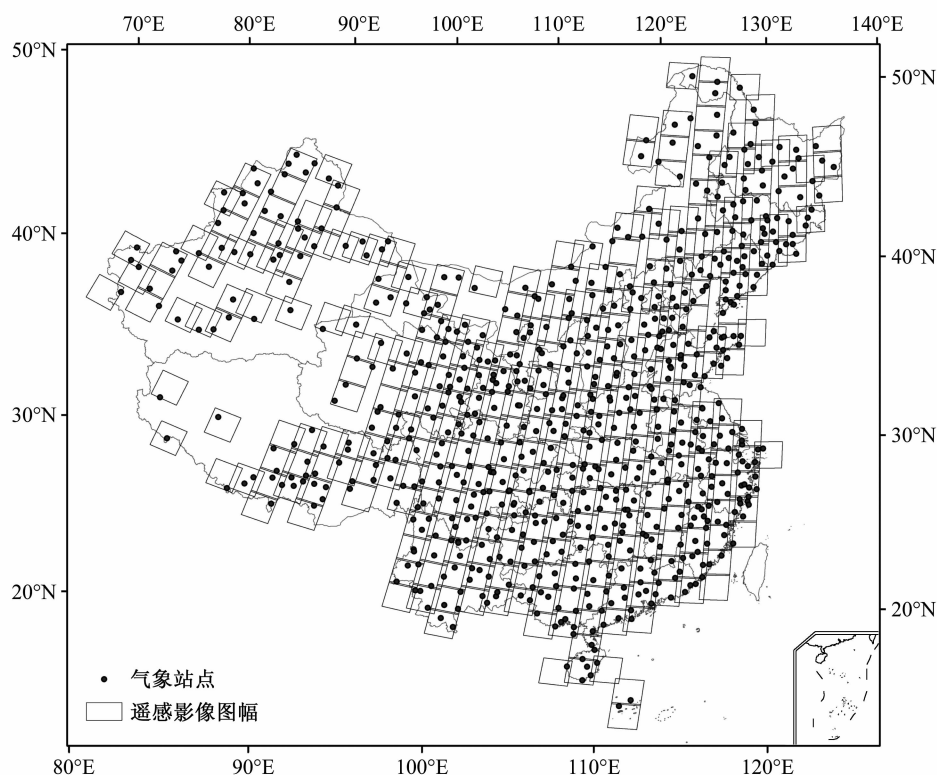


图 1 全国气象站点及其所在遥感影像图幅分布

Fig. 1 The distribution of meteorological stations and the RS (Remote Sensing) images

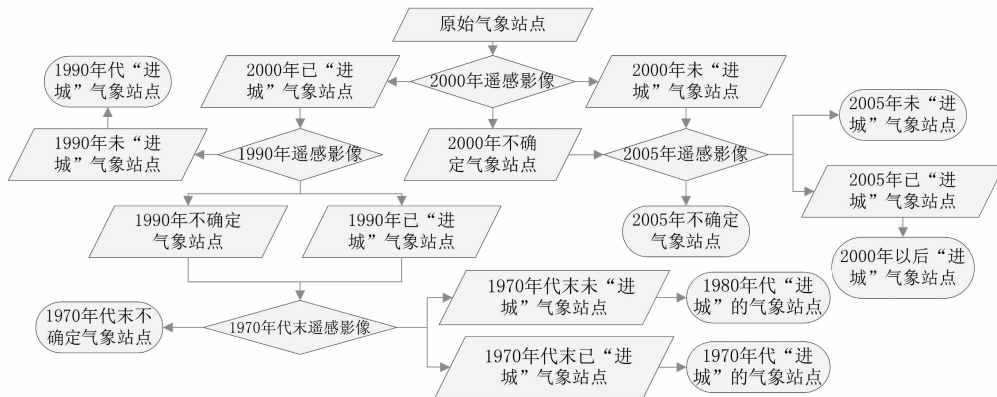


图2 基于遥感影像判别“进城”站点的流程

Fig. 2 Flow chart of distinguishing the stations based on RS images

均气温在 1992 年后有了明显上升,而天津站则保持缓慢增长上下波动。

对以上的判别结果,均需要进行电话咨询,以验证站点是否“进城”并确定其具体的“进城”和受影响的时期。针对是否进城(进城时间)、是否受影响和是否搬迁(搬迁时间)这几个问题,对影像判别的结果进行了进一步的验证和修正。

通过电话咨询,发现主要存在以下几种情况:(1) 站点确实已经被城市“包围”,观测明显受到影响,已经选定新的站址,着手搬迁;(2) 站点确实已经被城市“包围”,观测明显受到影响,但是还没有明确的搬迁计划;(3) 站点虽然已经“进城”,但是采取了一定的保护性措施,周边环境尚未对观测造成很大影响;(4) 站点目前并未“进城”,但是城市化的趋势必然会很快波及观测场周围;(5) 站点未“进城”,未来的城市建设会遵守相关保护法规,受影响的可能性不大。结合之前的影像判别结果,最终得出了各个时期“进城”站点的数目(表 1)。

表 1 气象站点“进城”判别结果分类统计

Table 1 Statistics of the consultation result by telephone

	进城站点总数	受影响站点数
20 世纪 70 年代	37	3
20 世纪 80 年代	40	19
20 世纪 90 年代	51	26
2000 年后	18	16
总计	146	64

2.3 判别结果

截止到目前,进城站点总数为 146,占全部站

点近 20%。20 世纪 70 年代末,进城站点只有 37 个,其中有 3 个站点已经被城区包围,且明显会受到周边建筑及其可能带来的城市热岛效应的影响;80 年代进城站点的总数达到 77 个,受影响的站点增加到 22 个;90 年代进城站点总数为 128 个,受影响站点增加至 48 个;2000 年以后受影响的站点增加到 64 个。

如图 5,进入 20 世纪 80 年代以后,“进城”和受到城市影响的站点都显著增加。通过电话咨询验证了解到,多数站点已经开始计划搬迁新址,有些站点正在着手搬迁,并且在新老观测位置上同时进行对比观测。在调查中也了解到近年来全国气象部门对气象站点的搬迁做了统一的规划和部署,最近几年已经成功搬迁了部分站点。同时,《气象法》和《气象探测环境和设施保护法》的颁布和有力执行,使得近年来各地政府部门在进行城市规划和建设时,充分考虑到对气象台站周边环境的保护,因此,2000 年以后“进城”的气象站点数开始减少。但是,城市扩张和城市化的进程会随着社会经济的快速发展而加剧,气象站点被动“进城”这一现象仍是一个必须关注和解决的严峻问题。

3 “进城”气象站点的气温变化特征分析

全球和区域上的气候变化是当前的研究热点,气温变化是气候变化研究中的一项重要指标和内容。当气象站点被动“进城”以后,必然会受到

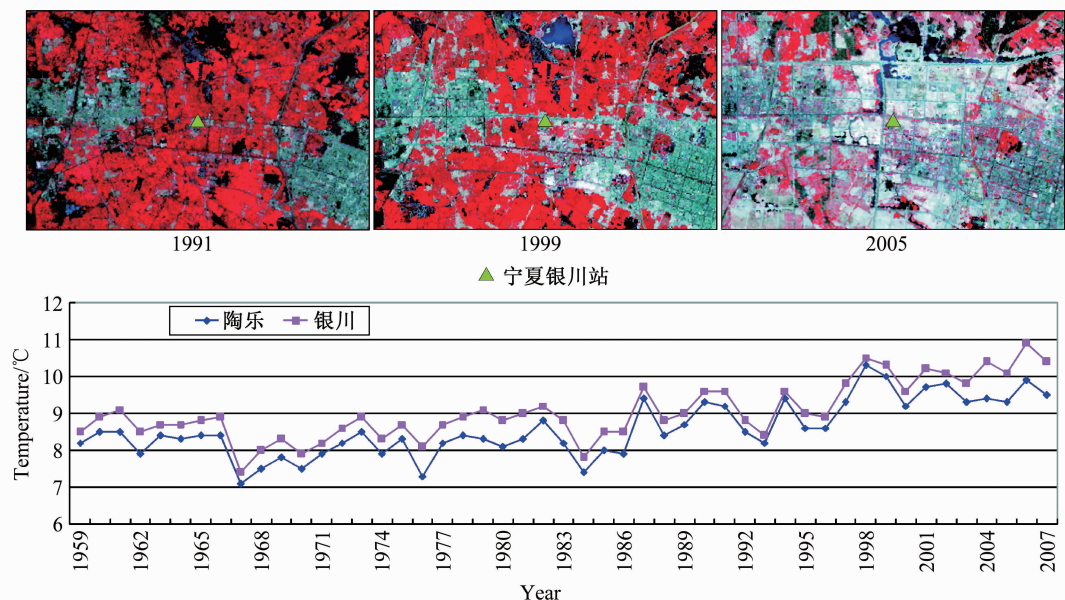


图3 宁夏银川站进城前（1991、1999年）后（2005年）的卫星图像（上图）及其与周边未进城站点（陶乐站）的年平均气温变化趋势对比（下图）

Fig. 3 The satellite images of Yinchuan station, Ningxia before (1991, 1999) and after (2005) “entering city” (up) and its annual average air temperature trend compared with that of the non-urban station (Taole) near it (bottom)

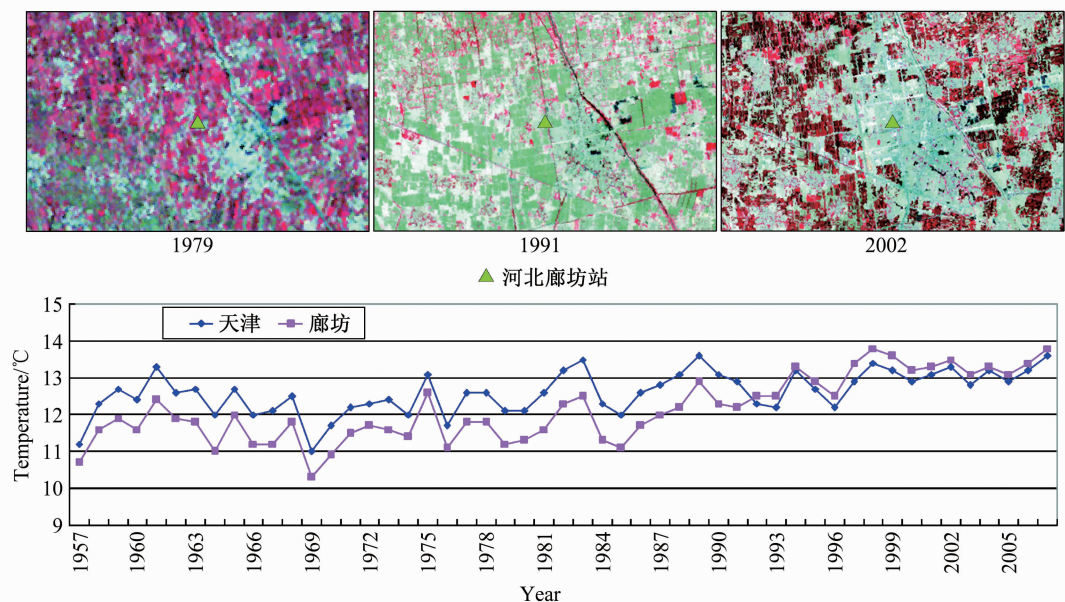


图4 河北廊坊站进城前（1979年）后（1991、2002年）的卫星图像（上图）及其与周边未进城站点（天津站）的年平均气温变化趋势对比（下图）

Fig. 4 The satellite images of Langfang station, Hebei before (1979) and after (1991, 2002) “entering city” (up) and its annual average air temperature trend compared with that of the non-urban station (Tianjin) near it (bottom)

城市建筑和周边环境的影响，特别是城市热岛效应对气温的影响尤其显著，对气温数据的观测会产生很大的扰动（Balling et al., 1990）。

3.1 年平均气温特征分析

本研究计算了气象站点的年平均气温、年平均最高气温、年平均最低气温和年平均温差的线

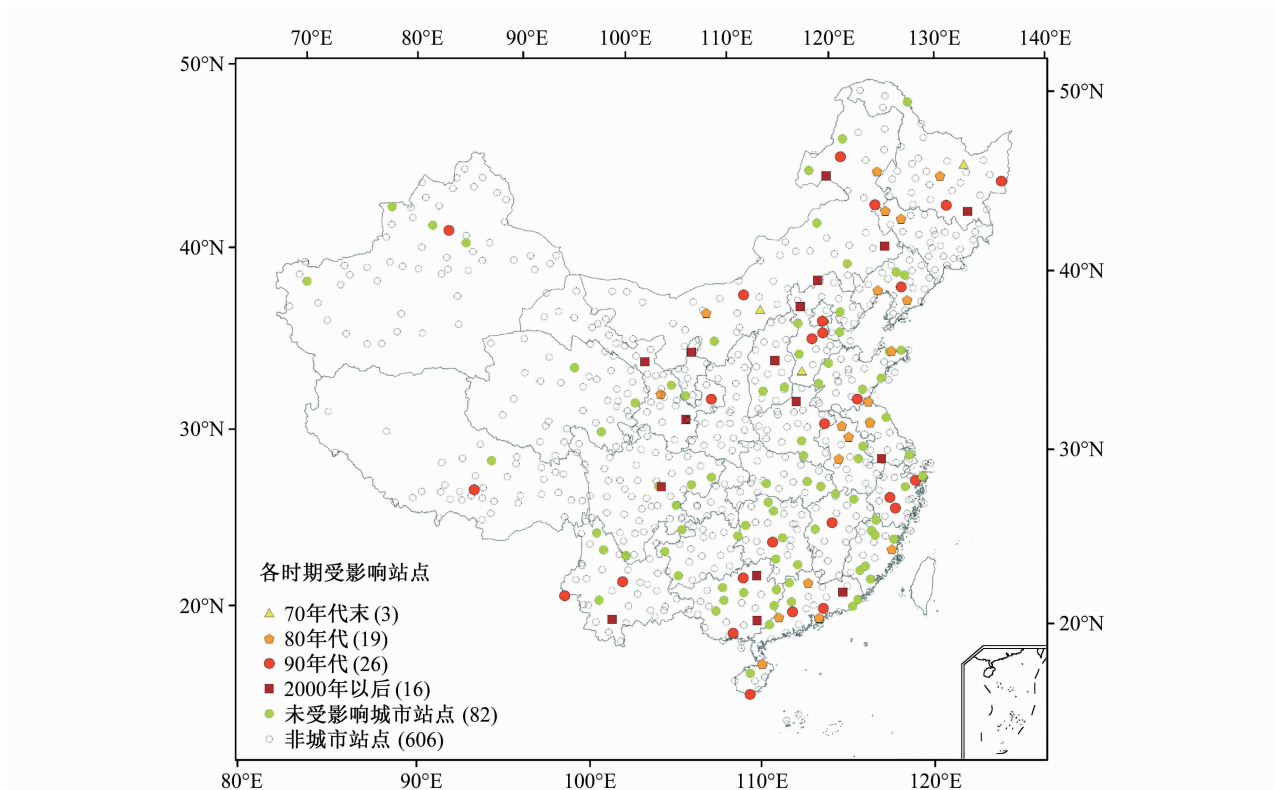


图 5 20 世纪 70 年代以来各时期“进城”和受城市影响的站点

Fig. 5 The stations “entering city” and affected by city since the 1970s

性倾斜率,从“进城”气象站点与未“进城”的站点的对比中可以发现:“进城”且受城市化影响的站点的气温变化趋势更加明显。

从表 2 中可以看出,全部站点的年平均气温呈上升趋势,这与国内外学者关于全球变暖这一认识是一致的(曾昭美等,2003;任国玉等,2005a,2005b),其中最高气温的增长幅度略低于最低气温的增长,因此平均温差一直在缩小。从全部站点、未受影响的“进城”站点和受影响的“进城”站点三者的统计值的对比可以得出:未受影响的“进城”站点的气温变化趋势与全部站点的平均值基本持平,而受影响的“进城”站点的气温变化则明显高于平均水平。从而证明气象站

点“进城”的确对气温观测产生了明显的影响,也同时表明基于遥感影像和电话咨询验证进行气象站点“进城”的判别是有效的。

3.2 季节平均气温特征分析

年平均气温只能粗略反映各个气象站点及其所代表的周边区域气温的总体变化趋势,气温的年内变化,则可以通过分析季节平均数据来得出(Aesawy and Hasanean, 1998)。

本研究结合中国的季节分布特点,将上一年度 12 月和当年的 1 月、2 月定义为冬季,随后是春季(3~5 月)、夏季(6~8 月)和秋季(9~11 月)。针对各季节的平均气温、平均最高气温、平均最低气温和平均温差,进行了与年平均数据相同的分析。

从表 3 的统计结果可以得出,气温变化在季节上的差异比较明显。总体上来说春季最为显著,夏季的变化最小。这与周连童和黄荣辉(2003)、任国玉等(2005a)和康丽华等(2006,2009)等研究结果基本上是一致的。受影响的“进城”站点的季节平均气温的变化仍然高于未受影响的“进

表 2 气象站点年平均气温线性变化趋势

Table 2 The linear trend of annual average air temperature
 $^{\circ}\text{C} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$

	年平均 气温	年平均最 高气温	年平均最 低气温	年平均 温差
全部站点	0.444	0.429	0.501	-0.072
未受影响的“进城”站点	0.457	0.432	0.513	-0.081
受影响的“进城”站点	0.544	0.448	0.660	-0.212

表 3 气象站点季节平均气温线性变化趋势

Table 3 The linear trend of seasonal average air temperature

℃ · (10 a)⁻¹

	平均气温				平均最高气温				平均最低气温				平均温差			
	冬季	春季	夏季	秋季	冬季	春季	夏季	秋季	冬季	春季	夏季	秋季	冬季	春季	夏季	秋季
全部站点	0.493	0.498	0.300	0.433	0.435	0.508	0.294	0.442	0.571	0.534	0.362	0.470	-0.136	-0.027	-0.068	-0.028
未受影响的	0.471	0.566	0.272	0.455	0.381	0.617	0.241	0.441	0.558	0.562	0.349	0.494	-0.177	0.055	-0.108	-0.053
“进城” 站点																
受影响的	0.617	0.592	0.367	0.545	0.443	0.528	0.331	0.450	0.766	0.710	0.441	0.630	-0.323	-0.182	-0.111	-0.179
“进城” 站点																

城” 站点和全部站点的平均值。气温在季节上的变化趋势跟年平均气温的变化基本上是一致的。但是，秋冬季节受影响的“进城” 站点的气温变化比其它站点更为显著，而春夏季节的差异略小。

3.3 典型站点的对比分析

在前面的研究中，对年平均气温和季节平均气温的线性变化趋势的分析中已经清楚地对比出“进城” 和未“进城” 站点之间的差异。但是考虑到全国站点的地域分布较广，南北和东西的气候差异显著，平均值只能反映气温变化的相对高低。因此，在全国的各个气候分区内选取了部分“进城” 站点和离该站点最近的 2 个站点，对它们最近 30 年的年平均气温和变化趋势进行直接的对比。

从全国的气象站点所覆盖的气候分区中选择中温带干旱区、高原温带亚干旱区、中温带湿润区、暖温带亚湿润区、北亚热带湿润区、中亚热带湿润区、南亚热带湿润区、边缘热带湿润区这 8 个主要分区，分别挑选 1 组站点。其中包括 1 个受影响的“进城” 站点和离此站点最近的 2 个未受影响站点，优先选择 1 个未受影响的“进城” 站点和 1 个非城市站点。

图 6 中的 8 组站点的对比均表现出同样的特征，受影响的“进城” 站点的气温变化倾斜率高于未受影响的站点。但是在不同气候区，气象站点的气温变化率的绝对值有着明显差异。在中温带干旱区和边缘热带湿润区，年平均气温变化较为平缓，“进城” 站点比其它站点略高，气温变化趋势非常接近；而北亚热带湿润区的站点均呈现较高的增温趋势。

4 讨论和结论

4.1 讨论

以往的研究通常忽视了气象站点的“进城”

现象，或将这些受干扰的站点数据生硬地去掉，这都会使区域气温评价产生偏差。因此，如何保留和修正这些受干扰站点的数据，使其不仅能继续代表城市的气温特点，又能反映周边一定区域的气温特点，是一项值得探索的有意义的研究。

从本文的研究结果来看，经历过“进城” 的站点约占总数近 20%，可见城市化对地面气象观测的影响不可小视。如果不排除或者剔除城市化对气温数据的高估作用，对中国近几十年的气温升高进行评估时，必然会造成一定程度的高估。因此，这种由城市化带来的区域气温高估作用有待进一步深入的研究。

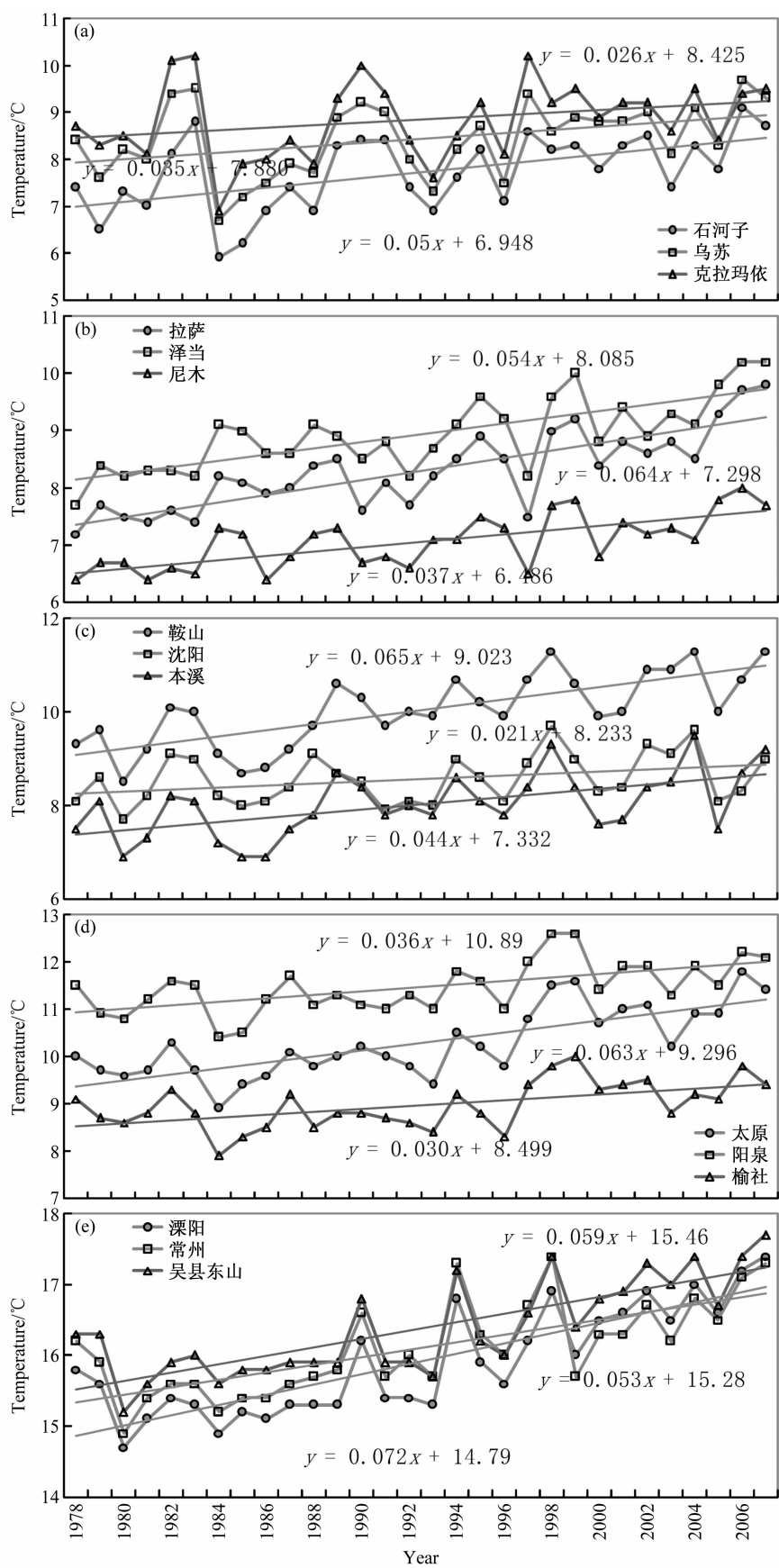
另外，气象站点“进城” 发生的时期不同，其受影响的程度和过程也不尽相同，不同地区、不同城市类型、不同城市化发展模式下都可能造成不同的结果。深入研究这一问题，有助于人们今后在进行城市规划时解决如何保护气象观测场所周边的探测环境和如何保证气象观测的连续性和稳定性这类问题。

总之，气象站点被动“进城” 的现象应该得到国家相关部门的高度重视，特别是在气象观测和城市建设两方面如何协调这一点上，必须尽快制定出合理有效的对策。为保证我国气象事业以及其它相关研究的稳定发展和进步，加强站点的保护，积极应对已经出现的问题是十分重要的。

4.2 结论

最近 30 年来，气象站点被动“进城” 的现象确实存在，并且显著影响了“进城” 站点的气象观测数据。气象站点周边探测环境的变化不仅干扰了站点的观测数据本身，对整个国家的气象观测工作造成了一定程度的混乱，也对区域气候研究产生了不可低估的影响。

“进城” 气象站点的年平均气温变化率明显高于全国气象站点的平均水平，当将这些观测数据



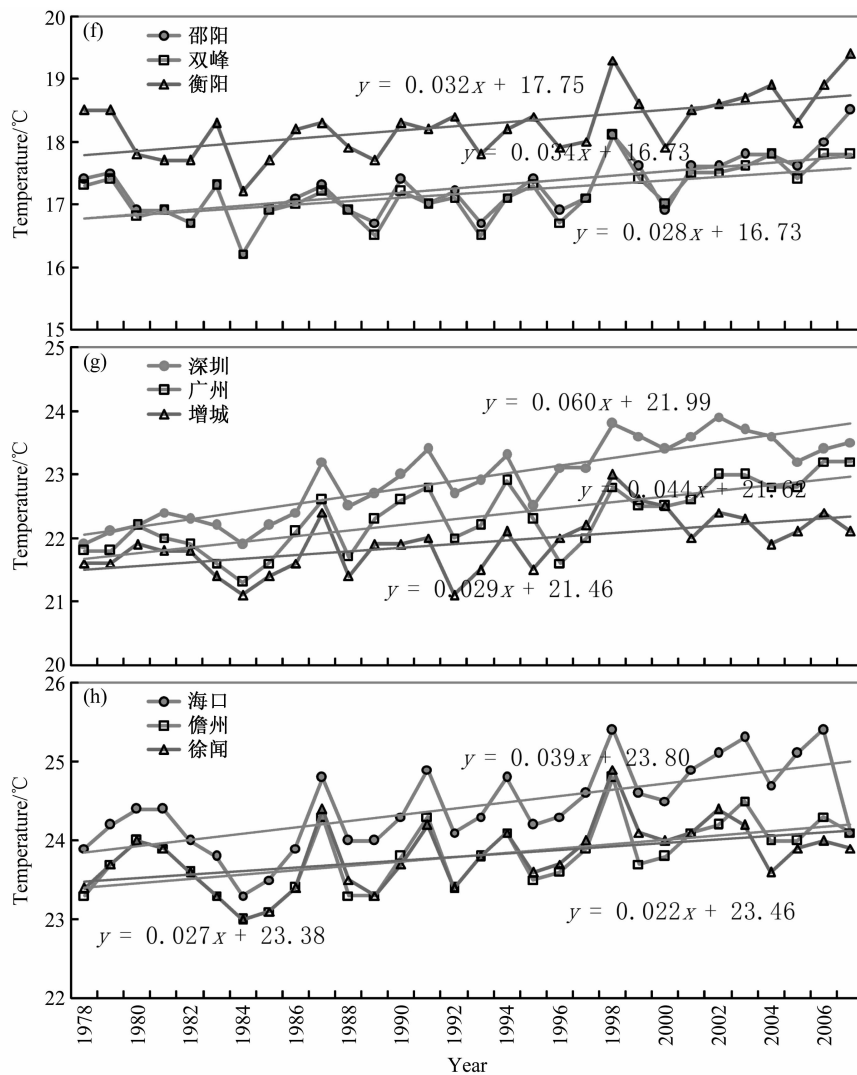


图6 不同气候区“进城”站点和非城市站点年平均气温变化趋势对比：(a) 中温带干旱区（石河子、乌苏、克拉玛依）；(b) 高原温带亚干旱区（拉萨、泽当、尼木）；(c) 中温带湿润区（鞍山、沈阳、本溪）；(d) 暖温带亚湿润区（太原、阳泉、榆社）；(e) 北亚热带湿润区（溧阳、常州、吴县东山）；(f) 中亚热带湿润区（邵阳、双峰、衡阳）；(g) 南亚热带湿润区（深圳、广州、增城）；(h) 边缘热带湿润区（海口、儋州、徐闻）

Fig. 6 Comparison of annual average air temperature trend in different climate zones: (a) Middle warm temperate and arid zone (Shihezi, Wusu, Kelamayi); (b) plateau warm temperate and semi-arid zone (Lasa, Zedang, Nimu); (c) middle warm temperate and humid zone (Anshan, Shenyang, Benxi); (d) warm temperate and semi-humid zone (Taiyuan, Yangquan, Yushe); (e) north subtropical and humid zone (Liyang, Changzhou, Dongshan); (f) middle subtropical and humid zone (Shaoyang, Shuangfeng, Hengyang); (g) South subtropical and humid zone (Shenzhen, Guangzhou, Zengcheng); (h) marginal tropical and humid zone (Haikou, Danzhou, Xuwen)

应用到区域上的研究时，周边区域的气温必然会被“高估”，从而不仅失去了区域上的代表性，也会对长时间序列历史气温变化趋势分析造成不可忽视的干扰。

气象站点的气温变化率与其所在的地理位置即气候分区有着一定的联系，但是本研究还未进行更深入的研究，尚不能定论。

参考文献 (References)

- Aesawy A M, Hasanean H M. 1998. Annual and seasonal climatic analysis of surface air temperature variations at six southern Mediterranean stations [J]. *Thero. Appl. Climatol.*, 61: 55–68.
- Balling R C, Skindlov J A, Phillips D H, et al. 1990. The impact of increasing summer mean temperatures on extreme maximum

- and minimum temperatures in Phoenix, Arizona [J]. *J. Climate*, 3: 1491–1494.
- He J, Liu J, Zhuang D, et al. 2007. Assessing the effect of land use/land cover change on the change of urban heat island intensity [J]. *Theor. Appl. Climatol.*, 90: 217–226.
- Kalnay E, Cai M. 2003. Impact of urbanization and land-use change on climate [J]. *Nature*, 423: 528–531.
- Li Q, Zhang H, Liu X, et al. 2004. Urban heat island effect on annual mean temperature during the last 50 years in China [J]. *Theor. Appl. Climatol.*, 79: 165–174.
- 高志强, 刘纪远. 2006. 1980~2000 年中国 LUCC 对气候变化的响应 [J]. *地理学报*, 61 (8): 865–872. Gao Zhiqiang, Liu Jiuyan. 2006. The LUCC responses to climatic changes in China from 1980 to 2000 [J]. *Acta Geographica Sinica* (in Chinese), 61 (8): 865–872.
- 康丽华, 陈文, 魏科. 2006. 我国冬季气温年代际变化及其与大气环流异常变化的关系 [J]. *气候与环境研究*, 11 (3): 330–339. Kang Lihua, Chen Wen, Wei Ke. 2006. The interdecadal variation of winter temperature in China and its relation to the anomalies in atmospheric general circulation [J]. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 11 (3): 330–339.
- 康丽华, 陈文, 王林, 等. 2009. 我国冬季气温的年际变化及其与大气环流和海温异常的关系 [J]. *气候与环境研究*, 14 (1): 45–53. Kang Lihua, Chen Wen, Wang Lin, et al. 2009. Interannual variations of winter temperature in China and their relationship with the atmospheric circulation and sea surface temperature [J]. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 14 (1): 45–53.
- 李庆祥, 李伟. 2007. 近半个世纪中国区域历史气温网格数据集的建立 [J]. *气象学报*, 65 (2): 293–300. Li Qingxiang, Li Wei. 2007. Construction of the gridded historical temperature dataset over China during the recent half century [J]. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 65 (2): 293–300.
- 刘纪远, 张增祥, 庄大方, 等. 2003. 20 世纪 90 年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析 [J]. *地理研究*, 22 (1): 1–12. Liu Jiuyan, Zhang Zengxiang, Zhuang Dafang, et al. 2003. A study on the spatial-temporal dynamic changes of land-use and driving forces analyses of China in the 1990s [J]. *Geographical Research* (in Chinese), 22 (1): 1–12.
- 刘纪远, 徐新良, 邵全琴. 2008. 近 30 年来青海三江源地区草地退化的时空特征 [J]. *地理学报*, 63 (4): 364–376. Liu Jiuyan, Xu Xinliang, Shao Quanqin. 2008. The spatial and temporal characteristics of grassland degradation in the three-river headwaters region in Qinghai province [J]. *Acta Geographica Sinica* (in Chinese), 63 (4): 364–376.
- 任国玉, 初子莹, 周雅清, 等. 2005a. 中国气温变化研究最新进展 [J]. *气候与环境研究*, 10 (4): 701–716. Ren Guoyu, Chu Ziyang, Zhou Yaqing, et al. 2005a. Recent progresses in studies of regional temperature changes in China [J]. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 10 (4): 701–716.
- 任国玉, 徐铭志, 初子莹, 等. 2005b. 近 54 年中国地面气温变化 [J]. *气候与环境研究*, 10 (4): 717–727. Ren Guoyu, Xu Mingzhi, Chu Ziyang, et al. 2005b. Changes of surface air temperature in China during 1951–2004 [J]. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 10 (4): 717–727.
- 任慧龙, 谷富生, 张雪梅. 2004. 浅析地面气象数据的质量控制 [J]. *山西气象*, 2004 (3): 45–46. Ren Huilong, Gu Fusheng, Zhang Xuemei. 2004. Brief analysis of quality control of ground meteorological data [J]. *Shanxi Meteorological Quarterly* (in Chinese), (3): 45–46.
- 王思远, 刘纪远. 2001. 中国土地利用时空特征分析 [J]. *地理学报*, 56 (6): 631–639. Wang Siyuan, Liu Jiuyan. 2001. Analysis on spatial-temporal features of land use in China [J]. *Acta Geographica Sinica* (in Chinese), 56 (6): 631–639.
- 徐新良, 刘纪远, 曹明奎, 等. 2007. 近期气候波动与 LUCC 过程对东北农田生产潜力的影响 [J]. *地理科学*, 27 (3): 318–324. Xu Xinliang, Liu Jiuyan, Cao Minghui, et al. 2007. Impact of recent climate fluctuation and LUCC process on potential for crops in northeast China [J]. *Scientia Geographica Sinica* (in Chinese), 27 (3): 318–324.
- 杨虎, 杨忠东. 2006. 中国陆地区域地表温度业务化遥感反演算法及产品运行系统 [J]. *遥感学报*, 10 (4): 600–607. Yang Hu, Yang Zhongdong. 2006. A modified land surface temperature split window retrieval algorithm and its application over China [J]. *Journal of Remote Sensing* (in Chinese), 10 (4): 600–607.
- 曾昭美, 严中伟, 叶笃正. 2003. 20 世纪两次全球增暖事件的比较 [J]. *气候与环境研究*, 8 (3): 319–330. Zeng Zhaomei, Yan Zhongwei, Ye Duzheng. 2003. Two global warming events in the 20th century [J]. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 8 (3): 319–330.
- 赵天保, 艾丽坤, 冯锦明. 2004. NCEP 再分析资料和中国站点观测资料的分析与比较 [J]. *气候与环境研究*, 9 (2): 278–293. Zhao Tianbao, Ai Likun, Feng Jinming. 2004. An Inter-comparison between NCEP reanalysis and observed data over China [J]. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 9 (2): 278–293.
- 中国气象局. 2003. 地面气象观测规范 [M]. 北京: 气象出版社, 5–8. China Meteorological Administration. 2003. *Criterion of Ground Meteorological Observation* [M]. Beijing: China Meteorological Press, 5–8.
- 周连童, 黄荣辉. 2003. 关于我国夏季气候年代际变化特征及其可能成因的研究 [J]. *气候与环境研究*, 8 (3): 274–290. Zhou Liantong, Huang Ronghui. 2003. Research on the characteristics of international variability of summer climate in China and its possible cause [J]. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 8 (3): 274–290.
- 朱怀松, 刘晓猛, 裴欢. 2007. 热红外遥感反演地表温度研究现状 [J]. *干旱气象*, 25 (2): 17–21. Zhu Huaisong, Liu Xiaomeng, Pei Huan. 2007. Summary on retrieval land surface temperature using thermal infrared remote sensing [J]. *Arid Meteorology* (in Chinese), 25 (2): 17–21.