

我国各省能源消费与其省会城市年平均温度的相关性研究

牛强¹, 李玲², 林峰¹, 聂超群¹, 季路成¹

(1. 中国科学院工程热物理研究所先进能源动力重点实验室, 北京 100190;

2. 中国科学院国家科学图书馆, 北京 100190)

摘要: 本文以国家统计数据为依据, 用能源消费走势图、年平均气温走势图以及能源消费—气温散点图的方法对典型能耗大省进行了研究。计算出我国具有相关统计数据的30个省的能源消费及其省会城市的温度变化的Pearson相关系数并将其列表, 对表中的数据进行分析并对别的省份进行能源走势图和温度走势图的对照分析。研究结果表明1978年~2008年间各个省份的能源消费与省会城市的温度变化呈现出普遍的较强相关性(以下简称“能温相关性”), 而且这种相关性的强弱受着样本省市能源消费量的影响。

关键词: 能源消费; 年平均气温; Pearson相关系数

中图分类号: F407.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-2355(2010)09-0019-05

doi: 10.3969/j.issn.1003-2355.2010.09.005

Abstract: Based on the statistical data from National Bureau of Statistical of China, this paper analyzes the evolution of the energy consumption and the air temperature of some key provinces and the Pearson correlation between energy consumption and air temperature of 30 provinces of China. The result shows that the energy consumption and the air temperature of these provinces from 1978 to 2008 have strong correlation and this correlation depends on the magnitude of the corresponding energy consumption. Finally it gives the prospect of further study and the suggestions to measurements and statistics of CO₂ concentration of China.

Key words: Energy consumption; Annual mean temperature; Pearson correlation coefficient

40年来海平面的持续上升、当前地球温度正处于过去1000年来的最高点、近百年来气温显著升高且升速越来越快、高山冰川不断融化、北极圈海冰范围逐渐减小。随着这一系列地球环境的显著变化, 全球变暖问题已经受到前所未有的重视。

研究发现气温变化既有太阳活动、太阳辐射强度变化、地质构造运动的原因, 更有人为因素影响, 其中温室气体特别是CO₂目前被认为是气候变化的主因, 此观点于19世纪末期被Chamberlin提出。20世纪80年代提取的南极Vostok冰芯中的CO₂浓度曲线同温度曲线走势的高度一致性, 为

CO₂和温度的相关性提供了证据。而近50年来地球温度变化与太阳辐射变化的背离将太阳活动排除在了导致全球变暖的主要原因之外, 这更从侧面支持了CO₂浓度上升是导致全球变暖的主要原因的假说。于是, 这一理论占据了当今主流。

然而, 认为CO₂浓度上升是导致全球变暖主要原因的理论从被提出就一直存在着争议, 有一些问题始终是这个理论无法解决的。首先, 即便两个变量趋势相同并不能说明两者的相关性, 更何况近100年来CO₂浓度和全球气温在某些时间段还呈现出相反的变化趋势, 例如, 1998年到2010年,

收稿日期: 2010-07-22

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(太阳能利用之局地环境效应及大规模能源利用对气候变化的影响评估)资助。

作者简介: 牛强(1981-), 男, 中国科学院工程热物理研究所博士生, 研究领域为工程热物理(燃气轮机燃烧室燃烧稳定性研究)及能源利用的环境效用研究。

随着CO₂浓度升高全球气温却基本不变。有研究还表明:尽管观测到的气温变化与大气CO₂和CH₄等温室气体浓度之间存在极好的正相关关系,但温室气体浓度变化滞后于气温变化,这说明有可能是气温变化引起CO₂浓度变化,而非反过来,等等。

化石能源的大规模开发利用使得其中所含C变为CO₂排放到大气当中的同时,其中化学能最终被转化为热量释放到环境中,这些热量与其他能源利用形式所排放的热量放在一起,即构成了人为热释放。区分CO₂排放与人为热释放对气候变暖的作用比较困难,加之一些国家更倾向CO₂而推卸责任、挤压他国发展空间,因此,人为热释放成为容易被忽视的重要因素之一。随着社会物质生产和社会消费继续发展,热释放作用或许会愈发凸现,这是本文探索研究气温变化与人为热释放关系的重要驱动。

不同区域的人为热释放水平依当地能源利用程度而有所差异。为使人为热释放对气候变暖影响更容易被捕捉,提高研究的合理性,就需要对能源利用较集中、热释放强度较大的区域进行研究。本文将这种区域锁定为城市。

对城市气温的研究早在大约200年前就开始了,有观测表明:同一地区的城乡间存在气温差异,这种差异随工业化进程和城市发展而不断扩大,即所谓“热岛效应”。当前普遍认为,人为热释放是引起城市温度升高的重要原因之一。从1970年开始,众多学者针对热释放对城市气温影响开展了一系列CFD数值模拟研究,用来模拟较短时间内热释放对城市气候的平均影响,目前已经达到相当精确的水平。不足的是,热岛效应数值模拟研究的目标时间尺度较小,不适合研究长时间序列温度变化的影响因素,而且其对气候参数边界条件有着比较严格的限制(比如风速等),模拟结果通常与某种特定气候条件下的平均结果进行对比(比如1995~1999年八月间海风流行的日子),其准确性容易受到外部气候变化的影响。由于不同地区气候因素的差异性,数值模拟大都是针对特定的地区建立的,通用性不强。

与数值模拟相比,针对长时间序列气象数据和归因数据(本文选择能源消费数据)的统计分析,则可能弥补短时间、空间尺度模拟研究的这些不足。实际上,在更长时间尺度上(30年或者更长)研究城市温度上升与人为热释放关系的研究还很欠缺。气象统计的分析还停留在对比城乡的

温度差异方面,对于引起此差异的原因的研究还很少见。这方面的研究对于我国进行城市发展规划以减缓城市气温上升、以及更全面地认识全球变暖的原因、为我国提出更合理的国际能源制度提供理论支持都是很重要的。

根据上述,本文以城市为研究对象,对人为热释放与城市气温相关关系进行统计数据的研究。

1 数据来源与研究方法

本文中选取1978~2007年的数据用于分析,原因是这部分的统计数据相对比较齐全,只有少数存在遗漏。能源消费方面的数据来源于国家统计局公布的数据,其中1978~2004年的来自《新中国五十五年统计资料汇编》,2005~2007年的来自《中国能源统计年鉴》。气象方面的数据来源于国家气象信息中心“中国地面国际交换站气候资料年值数据集”,此数据集由各省上报的全国地面月报信息化文件根据《全国地面气候资料(1961-1990)统计方法》及《地面气象观测规范》有关规定,进行整编统计而得。

本文人为热释放由能源消费来衡量。能源消费量由终端能源消费量、能源加工转换损失量、损失量三部分组成。本文认为:一方面所有能源消费最终都转化为热能排放到环境中;另一方面,本文考虑的热释放只包括能源利用所产生的,不包括人类自身散发热量以及人类活动所间接造成的地面热量变化。

文中所采用的年平均温度来自各省省会城市,而能源消费量则采用各省总量。这注定带来一定不准确性。这是由于国家统计局提供的能源消费量是以各省为统计单元,而国家气象信息中心提供的气象数据是以气象观测站为统计单元(各省会城市均设气象观测站)。但本文认为,省会城市是一省的中心,全省的能源消费的变化趋势很大程度上是能够反映省会城市能源消费的,而这一点由后面得出的北京、上海、重庆的结果得到了印证。

本文采用时间走势图直观对比法及Person统计相关方法对所得统计数据进行研究。Person相关系数又称样本相关系数,用来衡量两个变量测量值集合之间的相关性。

2 能温相关性研究

2.1 能源消费与年平均气温变化规律的举例研究

近年来全球温度的升高越来越成为大家关注的焦点话题,同时能源消费量也在随着经济的发

展不断地攀升。下面以北京为例，详细研究其能源消费和温度变化的规律，并对其相互之间的关系进行探讨。

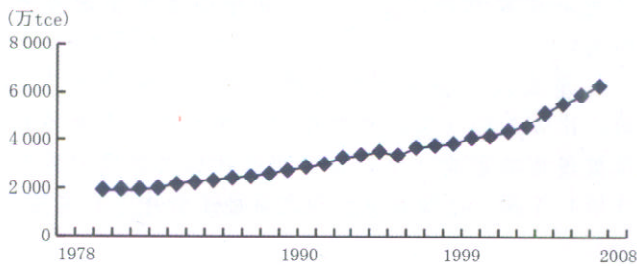


图1 北京能源消费

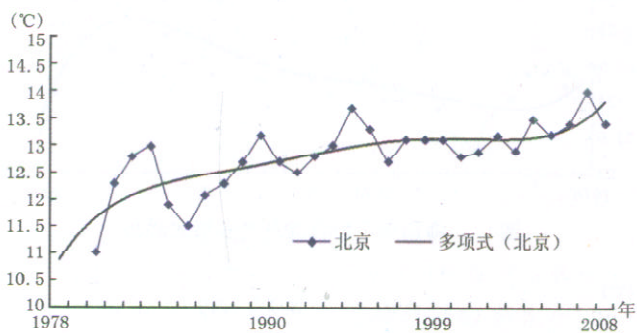


图2 北京年平均气温及其多项式趋势

图注：“多项式”指的是基于最小二乘法的多项式拟合曲线，下同。

图1和图2分别描述了1978年到2008年间北京能源消费和北京年平均温度随年份的变化。通过图2中的多项式回归曲线可以看出，北京的年平均气温与北京能源消费有着大体相同的变化趋势。图3中将这两个变量以散点图的形式画出，可以看出两者具有比较强的线性相关性。

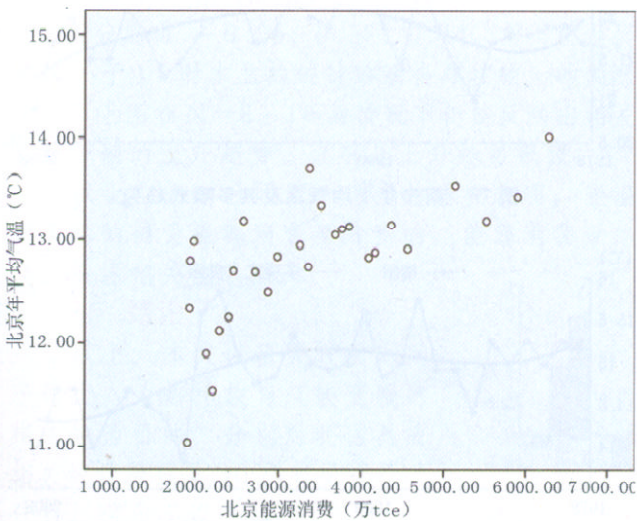


图3 北京能源消费年均气温散点图

经计算，二者的Pearson相关系数为0.703。这说明了二者的确存在着比较强的线性相关关系。

2.2 全国各省能源消费与其省会城市年平均温度的相关性研究

下面对全国有统计数据的各省进行研究，研究方法与使用的工具与2.1中的一样，考察的年份是1978~2007年总计30个年份。由于有些省份的统计数据不完整，其样本数N会有相应的减少。鉴于省份众多，就省去前面的详细表述，只将最后的相关系数列出。表1列出我国有统计数据的省份能源消费与其省会城市年平均气温的Pearson相关系数，其顺序按照“样本年份数N”的大小进行排列。

通过对表1中的计算结果进行观察可以发现：

(1) N = 17的25个省市中除了5个之外（斜

表1 全国大部分省份能源消费与其省会年平均温度的相关系数

地区	相关系数	年能源消费 (万 tce) (2007)	样本年份数 N
新疆	0.617	6576	30
山西	0.735	14620	30
辽宁	0.215	17379	30
吉林	0.645	7346	30
黑龙江	0.76	9374	30
福建	0.706	7574	30
陕西	0.764	6639	30
广西	-0.074	6137	30
云南	0.751	7173	30
贵州	-0.443	7692	30
重庆	0.594	5217	29
湖北	0.866	11861	28
北京	0.703	6285	28
宁夏	0.686	3047	28
青海	-0.157	2095	28
河南	0.805	17841	24
广东	0.649	21912	23
江西	0.748	5054	23
甘肃	0.6	5100	23
江苏	0.769	20604	23
上海	0.763	9768	23
内蒙古	0.662	12723	23
浙江	0.783	14533	18
海南	0.348	1016	17
安徽	0.598	7752	17
河北	0.419	23490	15
天津	0.226	4944	10
山东	-0.033	28554	10
四川	-0.363	13685	9
湖南	0.828	10797	8

体标出), 所有的相关系数都 >0.59 , 即能源消费与温度上升呈现出普遍的较强相关性; 而N 15 的 5 个省市的相关性基本没有规律可循。

(2) N 17 而相关系数 <0.59 即相关性较弱的 5 个省市中, 能源消耗量相对较大只有辽宁一个, 而省会城市能源消耗量都相对较小则有广西、贵州、青海、海南四个, 占相关性较弱样本中的 80%。

上面的第 1 条反映了相关性结果对样本数 N 的依赖, 这与统计方法对样本数 N 的要求恰好是契合的: 当 N 过小时统计结果会表现的杂乱无章, 只有当 N 较大时能源消费与温度上升普遍的较强相关性才能显示出来。

第 2 条中相关性较弱的 5 个省市中大部分是能源消费量较小的, 因此本文推测能源消费量的大小对能温相关性的结果有着某种程度的影响。为了验证此推测, 下面将从空间和时间两方面来考察能源消费量对能温相关性的影响。

2.3 能源消费量对能温相关性的影响研究

从空间上讲, 相关性弱的 5 个省中能源消费量小的省占 80%, 而这 5 个省能温相关性较弱的原因是什么, 它们之间是否存在差异, 下面将通过它们的能源消费量以及其温度的变化对此进行考察。

由图 4 可以看出辽宁等五省的能源消费在 1978 年~2008 年间基本上是一直上涨的, 且辽宁的能源消费远大于其他四省。而从图 5~9 五个省会城市的气温曲线及其多项式回归曲线则可以看出:

(1) 海口的温度在最后的两年(2007、2008 年)发生了大幅的下降, 其他的(西宁、南宁、贵阳)三个省会城市的温度也分别于某个时间段发生大幅下降, 并在之后徘徊在较低的水平。由此造

成了其能温相关性的不明显。

(2) 而沈阳的温度却是在波动中上涨的, 只是上涨的趋势比较缓慢。可见沈阳的能温相关性是可以观察到的, 这一点与其他四省的情况是不同的。

造成沈阳温度上涨缓慢的原因可能是多方面的, 比如外部气候因素的作用(如洋流或者季风)、植被覆盖的影响(比如大面积的森林对温度的调节作用)等等, 这些有待于在之后的工作中予以考察。

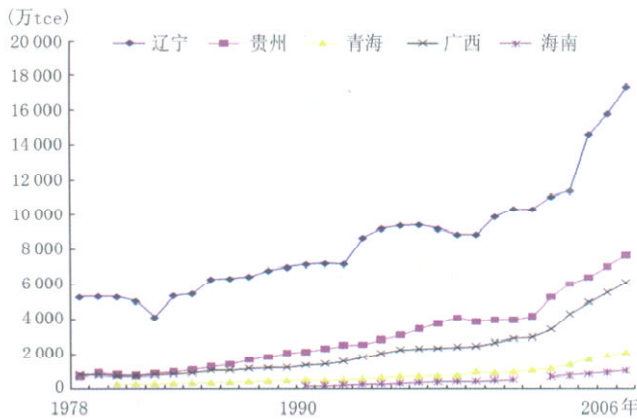


图 4 辽宁等 5 省能源消费总量变化

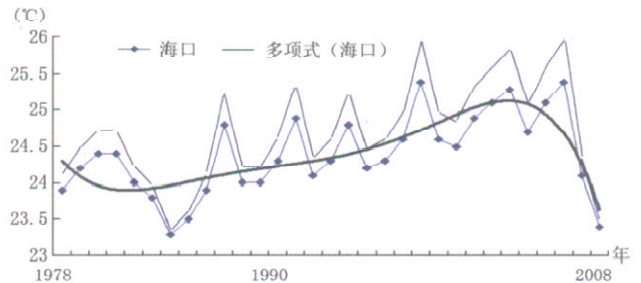


图 5 海口年平均气温及其多项式趋势

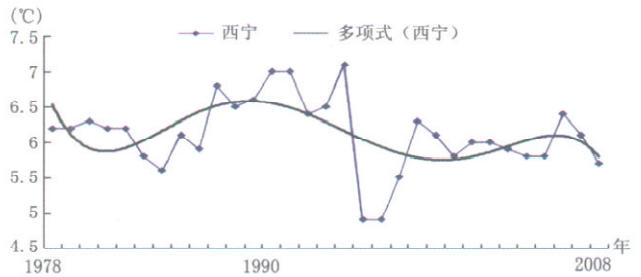


图 6 西宁年平均气温及其多项式趋势

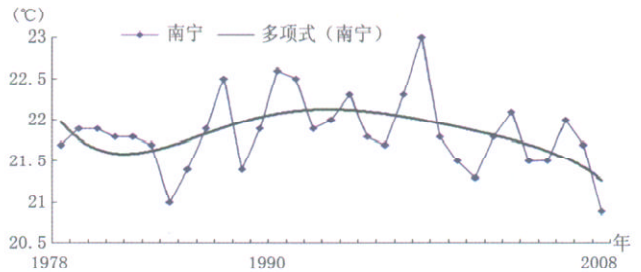


图 7 南宁年平均气温及其多项式趋势

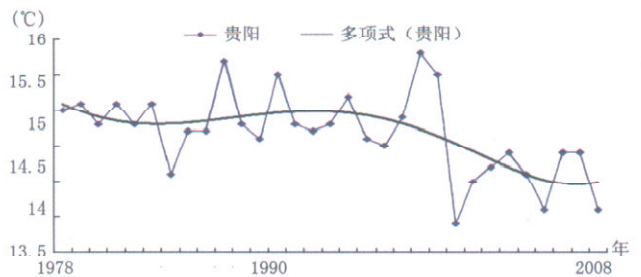


图 8 贵阳年平均气温及其多项式趋势

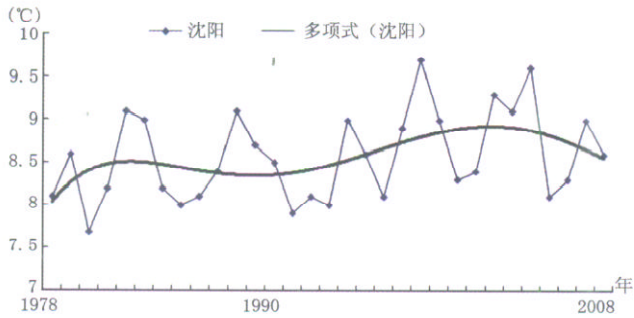


图9 沈阳年平均气温及其多项式趋势

时间方面，统计数据表明1978年~2007年30年间我国各省的能源消费量基本上是持续增长的。为了进一步研究各个时期不同的能源消费量对能温相关性的影响，本文将这30年平均划分为3部分对10个省市进行研究。

研究取的10个省市符合以下条件：

- (1) 对于每个10年，只有N=8的才给出相关系数，以保证相对较高的准确性；
- (2) 每个省市至少要有两个10年符合条件1，从而能够研究其能温相关性随时间的变化；
- (3) 其2007年的能源消费量居全国前列，这样的省市30年间能源消费量的变化更为明显；
- (4) 符合条件2的直辖市包含于其中，因为相对于辖区面积而言直辖市的能源消费普遍较大。

于是这里研究的对象锁定在3个直辖市、以及2007年能源消费前7位的省份，共计10个省市。

从图10中可以看出，除了上海、辽宁、山西的第2、3个10年的相关系数下降了之外，其他省市的相关系数都在上升。此10个省市能温相关系数的平均值也表现出显著上升，经计算，其三个10年的值分别为-0.26、0.28、0.44。前文已经提到N小于15时本文的统计结果会存在较大的偶然性，而上图在N=8~10的情况下仍能反映出相关系数普遍的上升趋势。说明此上升趋势很强。

以上空间和时间两个角度的研究表明，能温相关性的确受能源消费量的影响。能源消费量越大，能温相关性越强。

3 结论

以上，本文以研究较长时间序列上人为热释放与气候变暖的相关性为目的，分别对我国具有相关统计数据的30个省份进行了分析，得出了以下结论：

- (1) 1978年~2008年间各个

省份的能源消费与省会城市的温度变化呈现出普遍的较强相关性。

(2) 这种能温相关系数受样本省市能源消费量的影响，两者呈现出正相关关系：一方面，能源消费量大的省份其能温相关性比能源消费量小的省份整体较强；另一方面，特定省份的能温相关性随着其能源消费的增大而总体增强。

(3) 作为一种统计分析，本文的相关性研究对样本年份数N也有一定的要求，从计算结果来看，为了得到相对准确的相关系数，N最好大于15。

4 探讨与未来工作的展望

本文的研究只是一个开端，为了研究清楚人为热释放对气候变化的影响，必然还存在很多没有解决的问题需要进行探讨，这些问题也为下一步工作的开展指明了方向：

首先，本文研究的是人为热释放与气候变暖的相关性，而本文中的人为热释放是用能源消费来衡量的，即认为两者相等，其假设前提是所有的能源利用最终都转化为热能释放到了环境中。而这个假设在多大的范围内能够适用，对于不同的地区是否情况会有所不同，还需要进一步探讨。

其次，本文通过研究得出各个省份的能源消费与其省会城市气候变暖的相关性。如果要进一步研究城市范围的能源消费与其气温的相关性，还需要研究省会城市能源消费与全省能源消费的相关性。而城市一级的能源消费数据的收集与分析工作还有待于进一步开展。

第三，前面的研究表明海南等四个能源消费较小的省会城市的温度都在某个时间段发生了大幅下降，这是什么原因造成的；又是什么原因导致沈阳的温度增长缓慢，或者说是什么原因抑制了沈阳的温度与辽宁省能源消费的相关性，这些都需要进一步研究。

第四，研究人为热释放与温度上升的相关性的目的是为了研究它们的因果性，即研究人为热释放对温度上升的作用。而从相关性到因果性还

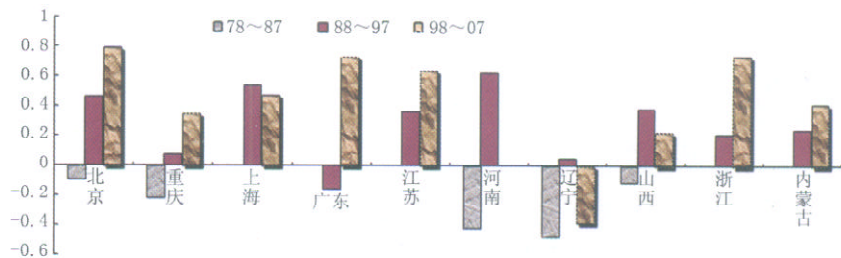


图10 能源消费量较大的10个省市3个10年的能温相关系数

欢迎订阅《中外能源》杂志

《中外能源》杂志创刊于1996年，月刊，国内外公开发行，国内刊号CN 11-5438/TK，国际刊号ISSN 1673-579X，每期定价18元。

《中外能源》杂志主要立足能源领域，特别是石油、天然气、煤炭及新能源和可再生能源领域，重点围绕能源战略规划和建设、新技术开发和应用、节能与清洁生产技术及其产业化应用等。主要栏目有：能源战略与政策研究、替代能源与新能源、油气勘探与开发、炼油与化工技术、节能与环境保护、区域能源、寰球能源动态、能源知识等。

《中外能源》杂志系美国《化学文摘》(CA)、美国《石油文摘》(PA)、美国《剑桥科学文摘》(CSA)、美国《乌利希期刊指南》、波兰《哥白尼索引》(IC)、中国期刊网、中国期刊全文数据库、中国核心期刊(遴选)数据库收录期刊。

银行电汇：收款单位：《中外能源》杂志社，开户银行：北京建行地坛支行，账号：11001042900053003411。

邮局汇款：刊社地址：北京东城区安外大街甲88号中联大厦903，邮编：100011，收款人：《中外能源》杂志社。

发行电话：010-64294880，64295183，传真：010-64295144，电子邮箱：zhongwny@163.com。

需要很多工作要做。

第五，要研究人为热释放对温度上升的作用，只分析能源消费与温度上升的相关性是不够的。还要将温室效应的增强从影响温度上升的因素中剥离出去。这就需要下一步开展对样本城市及其相邻农区的CO₂浓度各年的数据进行收集和分析的工作。此工作对于区分CO₂浓度与人为热释放对气候变暖的作用至关重要，而当前尚没有这方面的数据，建议国家有关部门建立相关的测量与统计工作。

最后，本文虽然研究的是人为热释放和城市温度也就是局地气候的关系，但这种关系并不仅限于局地，只有以更大区域的气候甚至全球气候为对象来研究人为热释放的作用，才会对认识全球变暖的原因有更大的帮助。当然Nakicenovi的研究表明，人类活动热释放的总量与地球接受到的太阳能相比非常小，后者大概是前者的1万倍。但温室效应的增强所留在地球的能量与人为热释放的能量的对比又是怎样的？人为热释放已经对城市局地气候产生了可观的影响，那么众多城市局地气候的变化对全球气候又会有什么样的影响？而且人为热量并非是均匀释放的，而是有着自身的周期特性，此周期性的交变对于气候又有怎样的影响？国际上相关的研究还是空白，这些都是需要进一步研究的。

参考文献：

- [1] Houghton, J.T., et al.. Climate change 2001: the scientific basis[M]. Cambridge University Press Cambridge, 2001.
- [2] Crowley, T.J.. Causes of climate change over the past 1000 years[J]. Science, 2000, 289(5477): 270.

- [3] Broecker, W.S.. 全球变暖: 行动还是等待?[J]. 前沿, 2006, 51:13.
- [4] 张强, 韩永翔, 宋连春. 全球气候变化及其影响因素研究进展综述[J]. 地球科学进展, 2005, 20(009): 990-998.
- [5] Chamberlin, T.C.. An attempt to frame a working hypothesis of the cause of glacial periods on an atmospheric basis [J]. The Journal of Geology, 1899, 7(6): 545-584.
- [6] 方精云. 全球变暖与碳排放[C]. 中国科学院第十五次院士大会学部学术年会学术报告, 2010.
- [7] 石广玉, 刘玉芝. 地球气候变化的米兰科维奇理论研究进展[J]. 地球科学进展, 2006, 21(003): 278-285.
- [8] Makar, P.A., et al.. Heat flux, urban properties, and regional weather[J]. Atmospheric Environment, 2006, 40(15): 2750-2766.
- [9] 彭少麟, et al.. 城市热岛效应研究进展[J]. 生态环境, 2005, 14(004): 574-579.
- [10] Narumi, D., A. Kondo, Y. Shimoda. Effects of anthropogenic heat release upon the urban climate in a Japanese megacity[J]. Environmental Research, 2009, 109(4): 421-431.
- [11] Rosenzweig, C., et al.. Characterizing the urban heat island in current and future climates in New Jersey[Z]. Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards, 2005, 6(1): 51-62.
- [12] 国家统计局. 《中国能源统计年鉴》主要统计指标解释. 北京: 2001.
- [13] 王学仁, 王松桂. 实用多元统计分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1990.
- [14] Nakicenovic, N., A. Grübler, A. McDonald. Global energy perspectives[Z]. 1998.