

热浪对人体健康的影响及其研究方法

谈建国 黄家鑫

(上海市城市环境气象研究中心, 上海 200030)

摘要 由于全球气候变化和城市热岛效应, 热浪成为世界范围内频繁发生的极端天气事件, 这使得热浪对人体健康的影响问题成为许多国际机构, 如世界气象组织 (WMO)、世界卫生组织 (WHO)、联合国环境规划署 (UNEP) 和各国气象、环境和流行病等方面科学家关注的焦点。作者介绍近年来世界各地频繁发生的热浪及其原因、热浪对人体健康的影响、热浪研究的指标法、多元回归分析和天气气候分型等多种方法, 同时也提出防御热浪的一些措施。

关键词: 热浪; 人体健康; 高温; 界限温度; 天气分类

文章编号 1006-9895 (2004) 04-0680-07 **中图分类号** X16 **文献标识码** A

1 引言

夏季对人体健康影响最直接的天气事件是热浪 (Heat Wave)。世界各国对热浪的研究很多, 但是至今为止, 热浪没有统一的定义。热浪通常是指一段不同寻常的让人热得难受, 通常情况下湿度又大的暑热天气, 热浪一般可以持续几天甚至几周, 热浪使人体耐力超过限度导致发病甚至死亡。各个国家和地区依据不同的研究方法, 对热浪的定义有很大差异: 如世界气象组织 (WMO) 建议日最高气温高于 32°C 持续 3 天以上的天气过程为热浪; 荷兰皇家气象研究所认为热浪为一段最高温度高于 25°C 持续 5 天以上 (其间至少有 3 天高于 30°C) 的天气过程^[1]; 美国国家天气局、加拿大、以色列等国家气象部门都依据综合考虑了温度和相对湿度影响的热指数 (也称显温) 发布高温警报, 当白天热指数预计连续两天有 3 小时超过 40.5°C 或者预计热指数在任一时间超过 46.5°C , 发布高温警报^[2]。德国科学家基于人体热量平衡模型制定了人体生理等效温度 (PET), 当 PET 超过 41°C , 热死亡率显著上升, 这可用作热浪的监测预警的指标^[3,4]; 中国气象局则规定日最高温度 35°C 以上为高温, 等等。热浪期间的超额死亡以老年人和已患病人群为最高, 这些超额死亡往往和心血管疾病、脑血管疾病和呼吸系统疾病有关。本文主要介绍近年来世界各地频繁发生的热浪及其原因、热浪对人体健康的可能影响、热浪研究的指标法、多元回归分析和天气气候分型等多种方法, 同时也提出防御热浪的一些措施。

2 近年来世界各地热浪频繁、影响巨大

热浪是世界范围内频繁发生的极端天气事件。世界许多大城市, 每年都有数以千

计的人因热浪袭击而致死，如 1987 年希腊热浪，有 1 000 多人因中暑死亡；印度继 1998 年 2 500 余人因热浪而丧生后，2002 年 5 月又遭受近 4 年来最凶猛的热浪袭击，造成约 1 200 余人死亡。这些数据仅仅是直接由热浪致死的，热浪间接导致死亡更多，还有许多人由于热浪患病或者心脏老化。2003 年夏天，热浪先后席卷了印度、中国东半部及西欧各国，英国气温创 130 年来最高纪录，西班牙、葡萄牙热浪引发森林大火。欧洲酷暑导致 1.9 万人丧命，其中法国最多，法国政府公布的死亡人数为 14 082 人，意大利政府公布的数字为 4 175 人，葡萄牙 1 300 人，荷兰 1 000 至 1 400 人，比利时 150 人，西班牙 141 人，德国 40 人。

进入 20 世纪 90 年代以来，我国夏季高温酷热天气也频繁出现^[5]。1999 年夏季，华北及其周边地区出现两段持续晴热高温天气， $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 的高温日数一般有 10~25 天；7 月 24 日北京最高气温达 42.2°C ，是建国以来的最高气温。2000 年夏季，华北、华南等地不少地区连遭热浪袭击，河北承德、北京、广东连县 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 高温日数分别达 28、26 和 44 天。以凉夏著称的承德市 7 月 12~14 日连续 3 天最高气温超过 40°C ，其中 14 日达 43.3°C ，为有气象记录以来的最高气温。2003 年夏季上海经历了 40 天高温，为近 50 年来高温日数之最。

近年来世界各地热浪发生如此频繁，首要原因归结为全球气候变暖。全球气候变暖是近年来大多数科学家的共识^[6]。根据科学家们对近 100 多年来全球气温资料的分析，全球平均地面温度已升高了 $0.3\sim 0.6^{\circ}\text{C}$ ，其中最暖的十几个年份发生在上个世纪 80 年代中期以后。2001 年 12 月世界气象组织又发表监测公告，指出 2001 年全球地面温度是近百多年来仅次于 1998 的第二个高温年。一些分析表明，过去 100 多年的全球变暖可能主要是大气中的 CO_2 等温室气体浓度增加引起的。另一方面，由于城市化进程，城市热岛效应愈加明显^[7]。也有专家认为除了全球变暖和温室效应以外，与臭氧层被破坏造成太阳辐射过强有很大关系。

3 热浪对人体健康的影响

热浪直接威胁到人体健康，因而引起了各国政府和国际机构的高度重视。不仅受到社会公众的普遍关注，而且也成为科学家们研究的新课题。

热浪对人体健康最直接的影响是发病率和死亡率的升高。在美国、加拿大、新西兰、希腊等地的城市，热浪袭击时总死亡率呈上升趋势。这一现象在温带地区表现得尤为突出^[8]，例如 1995 年伦敦的热浪使总死亡率增加 15% ^[9]，而上海 1998 年经历了近几十年来最严重的热浪，整个夏季出现了 4 波 3 天以上的热浪（7 月 8~20 日、8 月 1~3、8 月 7~17 日、8 月 21~23 日），热浪期间的总死亡人数可达非热浪期间的 2~3 倍，最高温度和热浪的持续时间起着非常重要的作用^[10]。

热浪期间，65 岁以上老年人死亡率增加更为明显。婴幼儿因热浪而引起的危险性同样很大，婴幼儿患有某些疾病如腹泻、呼吸道感染和精神性缺陷在热浪期间最易受高温危害。热浪除了直接的中暑死亡外，也容易侵袭患有心血管疾病、呼吸系统疾病的病人，导致病情恶化而提前死亡。

热浪频发于每年夏季，但是热浪发生的区域、时间、频次和强度都是有变化的，

这种变化在中纬度地区最大,使得中纬度地区的人群对热浪最敏感。热浪发生的季节早晚对健康的影响程度有差异,由于人的气候适应性,发生在夏季初的热浪影响要大于季节后的热浪^[9]。

热浪对健康的影响城区比郊区和农村要大得多^[9]。由于城市“热岛效应”,市区温度不仅高且持续时间长。炎热强度及持续时间比瞬时最高温度对死亡率有更大影响。空气污染也是城区较高,而热浪又往往与高的污染水平相联系^[11],如1995年美国 and 威尔士热浪期间,估计死亡人数有一半以上是由当时空气污染加重引起的。

热浪对人体健康的影响还与城市生活状况、社会经济因素和预防干预措施等有关^[9]。城市生活状况是一个重要的因子,住在顶楼、闹市区、没有空调环境的居民区具有较高的“与热有关”的发病率和死亡率。社会经济因素包括贫富差异、社交面、以及受教育程度等也是影响因素,在高犯罪率地区定居、很少接触媒介(如电视、报纸)的人往往缺乏热浪危害的意识和降低危险的方法。

4 热浪对人体健康影响的研究方法

热浪对健康的影响方面的研究成果很多,有些专家研究高温和中暑的关系^[12~14]。另一些则认为单个医院或几个医院的发病率(或者中暑病人数)代表性不足,而用一个城市的死亡率来研究热浪的影响,其研究方法归纳起来可以分为指标法、时间序列方法和天气气候分型三类。

4.1 指标法

研究热浪使用最多的指标是最高温度,当温度升高到某个临界温度,死亡明显增加。临界温度是这样确定的:在逐日死亡数和最高温度的散布图上,要寻找出一个温度,这个温度所分割的两组资料,各进行直线回归后的剩余平方和的合计值最小。不同地方界限温度有很大差异,纬度低、气候炎热的地方,高温出现频繁,人群适应温热,要十分高的温度才引发死亡,即是临界温度高;相反,纬度高、气候寒冷的地方,高温出现稀少,人群不适应炎热,不太高的温度就可能成为威胁,即是临界温度低。谭冠日等^[15]发现广州和上海的“临界温度”取整数都是34℃,如计及小数,广州比上海的高了将近1℃,表明广州人对炎热的耐受能力比上海强。而美洲由南到北几个城市的纬度及其临界温度也证明了上述规律^[16]。美国北纬约33度的达拉斯,常年炎热,温度要高到39℃才会引发死亡;北纬约35度的孟菲斯,临界温度降为37℃;纬度增高到约39度的圣路易斯,临界温度进一步降为36℃;纬度高约42度的芝加哥,临界温度只有33℃;纬度高达46度的加拿大的蒙特利尔,夏季凉爽,极少出现高温,一旦出现29℃的稍热天气,就有发生死亡的威胁。法国今年出现的热浪引起的超额死亡也是因为法国的纬度和我国的黑龙江省相当,冬暖夏凉,8月份北纬约49度的巴黎平均最高气温为23.8℃,比哈尔滨的26.1℃还低,到了最高温度接近或超过30℃,就会感到热得难受,而今年8月3~14日这段热浪期间温度上升到35~38℃。

除了单要素的温度指标外,国内外还开发了许多组合指标,如Steadman的体感温度^[17]、温湿指数或不适指数^[18]、相对气候指数^[19]、热指数^[2],等等。其中尤其以热指数使用最为广泛,美国国家天气局、加拿大、以色列等国家多使用热指数。而比较复

杂的指数是基于人体热量平衡模型推导出的生物气象指标，如人体生理等效温度(PET)。Hoppe^[3]和 Matzarakis 等^[4]使用 PET 指标研究了希腊的热浪分布情况，作者也成功运用人体生理等效温度进行了夏季暑热程度的预报^[20]。

4.2 多元回归分析方法

多元回归分析方法可用于逐日天气特点和逐日死亡率资料比较分析，并被广泛用于建立其间的联系，因此常常被用来研究热浪与超额死亡率的关系^[1,8]。在国内，陈正洪等^[14]利用逐步回归方法建立了武汉地区城市暑热危险度统计预报模型，谭冠日等^[15]运用逐步回归方法研究上海和广州的热日对死亡的影响，建立了“热日天气—死亡关系”如下：

$$D_s = -2367.24 + 7.50X_1 + 10.35X_2 + 5.28X_3 - 7.00X_4 + 1.93X_5,$$

$$D_g = -74.31 + 0.87X_3 - 0.12X_6 + 2.31X_7 + 1.50X_8,$$

式中 D_s 、 D_g 分别代表上海和广州的死亡数， X_1 为 02 时的温度， X_2 为 14 时温度， X_3 为热浪持续时间， X_4 为 02 时南北风速， X_5 为 08 时气压， X_6 为夏季日序，即位于夏季的第几天， X_7 为最高温度， X_8 为最低温度。

方程表明：上海在昼夜炎热，午夜南风微弱，早晨气压高的日子，死亡较多。热浪持续时间越长死亡越多。而广州在昼夜炎热的日子死亡较多，但广州人在夏季对炎热具有季节内的适应性，晚夏死亡比初夏少。

4.3 天气气候分型方法

人体对热浪的反应是许多气象要素综合作用的结果，而非单个气象要素的作用。各要素组合对人体健康的影响也不等于个别要素影响的线性叠加，而有可能是非线性的。前述指标法和时间序列方法的缺点是局限于表达线性关系。而评价天气与健康关系另一个方法就是对某地逐日天气进行分类，确定对人类健康有负面影响的高危险天气类型或者说是“侵人型”天气，在“侵人型”天气控制下的热浪天气和人群死亡率的增加存在直接的联系^[2]。

天气分型是天气学惯用的方法。Kassomenos 等^[21]研究了希腊雅典逐日死亡率和大气的环流类型的关系，Kalkstein 等^[2]探讨天气与死亡关系建立了时间天气指标 (TSI: Temporal Synoptic Index)，1995 年夏季投入使用的美国费城的热浪预警系统就是基于这种方法，时间天气指标用尽可能多的地面气象要素作为原始数据，每一日的资料组成矩阵，通过主成分分析，把原始资料矩阵分解成为荷载矩阵和得分矩阵，取可以解释原始资料总方差的 80% 以上的几个主因子和它的得分，然后通过聚类分析客观地得到几类天气型。可以从天气图找出它的天气成因，一般可以按温湿度特征或天气成因命名。最后统计各型天气下的日平均死亡数及其方差，并进一步建立此型天气下死亡数依气象要素而变化的回归方程。谭冠日等^[22,23]使用该方法研究了上海和广州的热浪与天气类型的关系。为了能够使热浪预警方法能够在其他地方得到推广，Kalkstein 等^[24]进一步开发了 SSC 天气分类方法 (Spatial Synoptical Classification)，首先确定极地干、温带干、热带干、极地湿、温带湿、热带湿和过渡类型 7 种天气型，然后从历史资料库中挑选每种气团类型的种子日，通过判别函数进行相似性比较，从而进行天气分类，进一步研究不同天气型下热浪与死亡率的关系，用逐步回归方法建立超额死亡数的预报方程。作者参与了由世界气象组织、世界卫生组织的气候与健康示范项目

“上海热浪与健康监测预警系统”的研制。在上海只要根据数值天气预报寻找到“温度高、湿度大、气压低、西南风小、多云天气”这种天气特征的日子,就可以进一步预测热浪引起的超额死亡数^[10]。

在世界气象组织(WMO)和世界卫生组织(WHO)资助下,建立的基于SSC天气分类的热浪监测预警系统,除了罗马、上海外,已经建成类似热浪与健康监测预警系统的城市还有加拿大多伦多、美国俄亥俄州的戴顿、辛辛那提、哥伦布和亚利桑纳州的凤凰城等,截至2003年已有17个城市建立了此系统^[16,25]。WMO下属气候委员会(CCI)专门成立了一个热浪与健康预警系统推广的专家小组,计划在世界的其他一些城市如摩洛哥的卡萨布兰卡和欧洲等地建立类似的热浪预警系统的城市。

5 热浪影响健康的机理及防御热浪的措施

热浪可分为日射型和热射型两种类型。日射型多发生于干热天气,由于太阳辐射中红外线可穿透颅骨,导致脑组织温度骤然升高,致使脑神经功能受损。热射型是因为皮肤在高湿热浪的侵袭刺激下,温度骤然升高,使得皮肤散热功能下降,体内热量不能散发,继而影响全身各器官组织的功能。高温对人体健康的不利影响同时也会由于湿度的增加而加剧^[26]。

热浪来临,人们能够有效地采用各种适应措施来大大地减少热浪对健康的可能影响。最重要和最有效的措施是健全的公共卫生基础设施、完善的热浪预警系统和合适的热浪紧急响应策略。适应和减轻热浪对人类健康的影响可以在个人、集体或社团不同层次上进行。一旦预测有热浪来临,社会各部门可以通过电台、电视台、报纸等媒体,使公众能够及时得到热浪警报;公共卫生部门本身及媒体增加有关热浪知识的宣传教育,宣传如何防御热浪、避免因此而致病,特别是对易受热浪侵袭的危险人群加强宣传和服务工作;医院、社区服务做好充足准备;供电、供水部门保证热浪警报期间足够的电力和水源供应;提醒居民热浪来临时应尽可能打开空调或到凉爽环境下避暑等等,尽量减少因受热浪影响致病致死的人数。

6 结论

(1) 全球变暖、热岛效应以及臭氧层被破坏造成太阳辐射过强等原因使得全球范围内热浪事件频繁发生,影响巨大。

(2) 热浪对引起死亡率的增加,老年人、婴幼儿和心血管、呼吸道疾病患者是热浪危害的易感人群。

(3) 热浪对人体健康的影响问题十分复杂,除了作者介绍的一些研究方法外,还需要进一步积极开展热浪对健康影响机理的研究。加强应用气象学和预防医学的交叉融合非常重要的。

参 考 文 献

- 1 Huynen, M., P. Martens, D. Schram et al., The impact of heat waves and cold spells on mortality rates in the

- dutch population, *Environmental Health Perspectives*, 2001, **109** (5), 463~470.
- 2 Kalkstein, L. S., P. F. Jamason, J. Libby, and L. Robinson, The Philadelphia hot weather—health watch—warning system: development and application, summer 1995, *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 1996, **77**, 1519~1528.
 - 3 Hoppe, P. R., Heat Balance Modeling, *Experientia*, 1993, **49**, 741~746.
 - 4 Matzarakis, A., H. Mayer, Heat Stress in Greece, *Int. J. Biometeorol.*, 1997, **41**, 34~39.
 - 5 谢庄、崔继良、刘海涛等, 华北和北京的酷暑天气 I. 历史概况及个例分析, 气候与环境研究, 1999, **4** (3), 323~333.
 - 6 WHO/WMO/UNEP, Climate and health: The potential impacts of climate change, Geneva, Switzerland, World Health Organisation, in press, 1996, 304pp.
 - 7 Whitman, S., G. Good, E. R. Donoghue, N. Benbow, W. Shou, and S. Mou, Public health briefs: mortality in Chicago attributed to the July 1995 heat wave, *Am. J. Publ. Health*, 1997, **7**, 1515~1518.
 - 8 Kunst, A. E., C. W. N. Looman, and J. P. Mackenbach, Outdoor air temperature and mortality in the Netherlands: a time-series analysis, *American Journal of Epidemiology*, 1993, **137**, 331~341.
 - 9 Rooney, C., A. J. McMichael, R. S. Kovats et al., Excess mortality in England and Wales, and in Greater London, during the 1995 heat wave, *Journal of Epidemiology and Community Health*, 1998, **52**, 482~486.
 - 10 谈建国、殷鹤宝、林松柏等, 上海热浪与健康监测预警系统, 应用气象学报, 2002, **13** (3), 356~363.
 - 11 Piver, W. T., M. Ando, F. Ye et al., Temperature and air pollution as risk factors for heat stroke in Tokyo, July and August 1980—1995, *Environmental Health Perspectives*, 1999, **107**, 911~916.
 - 12 茅志成、邬堂春主编, 现代中暑诊断治疗学, 北京: 人民军医出版社, 2000.
 - 13 王长来、茅志成、程极壮, 气象因素与中暑发生关系的探讨, 气候与环境研究, 1999, **4** (1), 40~46.
 - 14 陈正洪、王祖承、杨宏青等, 城市暑热危险度统计预报模型, 气象科技, 2002, **30** (2), 98~102.
 - 15 谭冠日, 全球变暖对上海和广州人群死亡数的可能影响, 环境科学学报, 1994, **14** (3), 368~373.
 - 16 谭冠日, 高温警报标准值得商榷, 光明日报, 2003, 8, 8, B3 版.
 - 17 Steadman, R. C., A universal scale of apparent temperature, *J. Climate Appl. Meteorol.*, 1984, **23**, 1674~1687.
 - 18 Tselepidaki, G., D. N. Asimakopoulou, K. Katsouyanni et al., The use of a complex theronohygrometric index in predicting adverse death effects in Athens, *Int. J. Biometeorol.*, 1995, **38**, 194~198.
 - 19 alkstein, L. S., K. M. Valimont, An evaluation of summer discomfort in the United States using a relative climatological index, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1986, **67**, 842~848.
 - 20 谈建国、邵德民、马雷鸣等, 人体热量平衡模型及其在人体舒适度预报中的应用, 南京气象学院学报, 2001, **24** (3), 384~390.
 - 21 Kassomenos, P., A. Gryparis, E. Samoli, et al., Atmospheric circulation types and daily mortality in Athens, Greece, *Environmental Health Perspectives*, 2001, **109** (6), 591~596.
 - 22 谭冠日、黄劲松, 气候影响评价的两种统计方法——论广州天气对死亡率的影响, 南京气象学院学报, 1990, **13** (3), 359~367.
 - 23 谭冠日、黄劲松、郑昌辛, 一种客观的天气气候分类方法, 热带气象, 1991, **7** (1), 55~62.
 - 24 Kalkstein, L. S., M. C. Nichols, C. D. Barthel et al., A new spatial synoptic classification: Application to air mass analysis, *International Journal of Climatology*, 1996, **16**, 983~1004.
 - 25 Kalkstein, L. S., Activities within Study Group 6 of the international society of biometeorology, *Int. J. Biometeorol.*, 1998, **42** (1), 8~9.
 - 26 Gaffen, D. J., and R. J. Ross, Increased summertime heat stress in the U. S, *Nature*, 1998, **396**, 529~530.

The Impacts of Heat Waves on Human Health and Its Research Methods

Tan Jianguo, and Huang Jiaxin

(*Shanghai Urban Environmental Meteorology Research Center, Shanghai 200030*)

Abstract An increase in the frequency and intensity of heat waves are likely to be accompanied by global climate change and urban heat island effect in the world. So the impacts of heat waves on human health become a topic focused by many international organizations such as World Meteorological Organization (WMO), World Health Organization (WHO), United Nations Environment Programme (UNEP) and many scientists of meteorology, environment and epidemic. In this paper, the frequent heat wave and its impact on human health, some analysis methods such as threshold temperature, biometeorology indexes, multi-variable regression analysis and air mass-based synoptic approaches are introduced. It also lists some countermeasures against heat wave.

Key words: heat wave; human health; high temperature; threshold temperature; air mass classification