

深圳市人口分布的细网格动态特征

毛 夏¹, 徐蓉蓉², 李新硕¹, 王 煜², 李 程¹, 曾 波², 何宇华¹, 刘锦泉¹

(1. 深圳市气象局, 深圳 518040;

2. 中国移动通信集团广东有限公司深圳分公司, 深圳 518048)

摘要: 深圳是中国人口密度最高的城市, 为应急处置自然灾害等突发事件, 需要实时获取高分辨率的人口动态分布信息。本文利用“基于移动基站的人口分布动态监测系统”提供的时间分辨率1 h, 空间分辨率1 km的人口密度信息, 分析了深圳市人口细网格动态特征。深圳城市移动用户总人口是1082.59万人, 平均人口密度5545人/km², 最高16.5万人/km², 超过5.0万人/km²高密度人口主要分布在商业中心、海关口岸、火车站和居民集中居住区。最高人口密度的数值与选择的网格尺度有关, 1000 km²网格和1 km²网格之间可以相差18倍。在深圳50%的人口聚集在10%的空间范围内, 60%的人口分布在海拔高度50~100 m的土地上; 网格上的建筑密度、道路密度与人口密度线性相关, 建筑密度增加1%, 对应人口增加约1000人, 道路密度增加0.01%, 人口增加约2000人。城市总人口在一定时期内是相对固定, 变化幅度在4%以内, 逐日之间变幅在1%左右。深圳是个典型的移民城市, 春节期间由于大量人口返乡或外出旅游, 总人口净减少48%。本文选择9个典型网格分析人口日变化规律: 海关口岸属于早高峰型, 大量的出境、出行、出游人员在早晨8时前后集中; 城镇集市区属于午高峰型; 商业中心区属于晚高峰型, 高峰前后每小时的净流入(出)人员可达2万人; 居民区属于午低谷型, 周末与周日相比各时段人口均偏多; 政府行政办公和公共服务区, 周末比周日人口明显减少, 春节期间减幅75%; 工厂区因错峰用电, 夜间4时形成人口高峰; 郊野公园春节期间人数不减反增; 偏僻乡镇人口日变化振幅很小; 农业区在上午9时形成人口低谷, 与日出而作的传统习惯相对应。

关键词: 人口密度; 细网格; 动态分布; 深圳

1 引言

可持续发展中遇到的资源、环境、生态等各种难题都与人口分布密切相关。影响并决定人口空间密度的主要因素是自然环境条件和基础设施发展水平^[1]。人口密度是表现人口分布的主要形式^[2], 获取不同尺度上高精度的人口分布信息对于正确认识人口规律, 分析人口、资源、环境和社会经济发展的相互作用机制, 提高人口、资源和环境的综合管理能力意义重大^[3-5]。由于人口数据通常是以行政区为单元, 通过普查、逐级统计汇总, 需要通过人口数据格网化(Population Data Grid Transform, PDGT), 即按一定的数字模型将以行政区为单位的人口统计数据展布到一定尺寸的格网中, 以便表述区域单元的人口空间分布与分异规律^[6]。PDGT方法主要包括: 面积权重模型^[7]、核心估计模型^[8]、土地利用类型影响模型^[9]、重力模型^[2]、多数据源融合模型^[10]等。随着对地遥感技术的快速发展, 出现了基于TM影像^[11]、土地利用^[12]、夜间灯光数据^[6]等新的人口密度数字模拟方法。人口分布数据在城市规划^[13]、道路交通^[14]、环境保护^[15]、医疗卫生^[16]、灾害管理^[17]、应对气候变化^[18]等各

收稿日期: 2009-08-04; 修订日期: 2009-11-29

基金项目: 国家863项目(2006AA01A123) [Foundation: Research and Development Program of China (863 Program), No.2006AA01A123]

作者简介: 毛夏(1963-), 男, 高级工程师, 中国气象学会会员, 主要从事气象灾害监测预警和灾害管理研究。

E-mail: maoxia@139.com

行各业有着广泛的应用。国外相关的研究,最早见于1929年芬兰地理学家Graneau采用1 km格网的自然、社会现象分析^[6]。在全球人口制图研讨会的推动下,1995年诞生了第一版全球栅格人口数据库GPW V1,其方法是将人口统计数据平均分配到行政单元内的网格,其后的GPW V2中采用加权平均的方法处理行政单元边界处的格网人口^[19]。为了解决居民区被植被、水体、道路等分割形成的离散分布问题,PDGT模型在单中心模型的基础上,又逐步向多中心模型发展^[20]。

在城市化进程中,人口高度密集的超大型城市不断增多,为应对社会高风险而构建的数字化城市管理系统、突发事件应急体系以及灾害风险动态评估等需要实时获取精准的人口时空动态分布信息。以自然灾害为例,尽管地震、海啸、台风、暴雨、雷电等灾害影响的强度、范围、频度差别很大,但都会对风险区域内的人构成生命威胁,开展有效的灾害预警预报和风险识别需要实时掌握风险人群的空间动态分布,目前依据PDGT等方法获取的人口分布信息难以满足需求,主要表现在:空间上难以推算城市商业中心、居住中心、交通枢纽等在局部区域形成的超高密度人群分布和生态保护、水体等区域的超低密度人群分布;时间上无法获得城市人口的日、周、节假日等动态分布特征。

作者在2007年提出利用移动基站手机用户信息实时动态监测人口分布的设想,深圳市气象台和中国移动通信集团广东有限公司深圳分公司经过近1年的联合研发、调试和升级改造,系统于2008年11月投入业务运行,该系统可全年365天不间断地提供时间分辨率1 h,空间分辨率1 km,时间延迟小于0.1 h的人口密度信息。本文利用该系统获取的第一个100天资料(2008年11月28日-2009年3月8日),对深圳市人口分布的细网格动态特征进行了初步的分析。

2 资料和方法

2.1 深圳人口

深圳市的前身是广东省宝安县,1980年创办经济特区。深圳市地处广东省中南沿海,东临大鹏湾,西连珠江口,南接香港,北邻东莞、惠州,总面积1952.84 km²,海岸线全长229.96 km,建成区面积超350 km²;深圳气候属于亚热带海洋性气候,年平均气温22.4℃、年均降雨量1933.3 mm。

深圳是中国人口密度最高的城市。1979年深圳人口31.41万人,2005年827.75万人^[21],2008年底官方统计的实际管理人口规模已经达到1200万,30年增加了约28倍,其中暂住人口高达78.02%;根据美国Wendell Cox Consultancy咨询机构2008年最新估测的世界大城市人口密度(<http://www.demographia.com/db-worldua.pdf>),在全世界实际人口超过1000万的22个城市中,深圳总人口数列第19位,人口密度列第8位;在中国实际人口超过1000万的4个城市中,深圳总人口数列第3位,人口密度列第1位。

深圳城市人口的动态变化很大。作为一个移民城市,春节期间可能会有接近50%的城市人口暂时离开深圳回内地老家过年;作为一个口岸城市,全国最大的陆路口岸每天有数十万人的通关过境;作为一个人口平均年龄不到30岁的年轻城市,周末、节假日的人口分布与平均态之间会出现显著的差异。

2.2 人口分布

移动电话是目前普及率最高的通讯终端设备,特别是在深圳这样一个全体市民平均年龄不到30岁并且全部乡村都完成了城市化改造的现代化都市,移动电话普及率已达90%以上,移动电话用户的分布及其动态变化在统计意义上已经非常接近实际的人群分布和动态变化。在移动通讯系统的业务系统中,小区是移动通讯网的最小单元,在深圳90%以上小区的TA(Time Advance)参数在0~1之间,1TA对应的物理距离约为550 m,因此通过小

区获取的用户分布, 其空间分辨率可达 1 km。

获取小区移动用户数最直接、最准确的方式是信令捕捉, 可以精确到每个用户, 但这种方式需要信令采集仪处理大量数据, 按照时间分辨率 1 h 的要求, 每小时在全网做实时信令分析, 交换机和相关信令链路的负荷过高, 并需要巨量的成本投入, 实际上是不可行的, 可以用此方法做抽样统计, 建立数据模型或检验相关模型。获取小区移动用户数的间接方法是使用小区话务量的实时数据。在移动网中, 用户终端与网络进行交互时, 网络就会知道用户所在的小区, 这种交互包括通讯行为和管理行为两种。通讯行为包括主叫、被叫、短信等, 是用户可知的行为; 管理行为包括终端开机、关机、通过边界、定期位置报告等, 大部分是用户不可知, 由终端自动进行的行为。通过对交互信息和话务量信息的实时采集, 结合用户资料的基础数据, 以及通过信令捕捉抽样统计建立的网络用户行为数据模型, 动态计算出每个小区覆盖区域的单位话务量对应的移动用户数, 并通过终端 IMEI 有效识别多号一卡、多卡一机等信息, 再通过扣除无线 DDN 中的 GPRS 用户等技术处理手段, 就可以相当精确地获取小区内的移动用户数。作者在深圳全市 6 个行政区各取一个交换局进行的对比实验, 用基于话务量信息获取的移动用户数, 与精确的信令捕捉结果相比, 偏差的累计百分比分别是: 40% 以上的小区误差在 3% 以内, 90% 以上的小区误差在 5% 以内, 99% 以上的小区误差在 10% 以内。实验结果说明, 基于话务量快速计算移动用户数的方法是可行的, 其平均误差在 5% 以下, 最为关键的是此方法可以实现人口分布实时动态监测。

深圳市人口分布实时动态监测系统是“深圳市基于移动网络的应急指挥信息平台”的一部分, 该系统的空间分辨率 1 km, 即按照 1 km×1 km 的正方形网格将深圳划分为 2136 网格, 边界区域由于无线覆盖等因素, 会出现跨边界和深入海区的情况, 网格分布见图 1, 每个网格均以中心的经纬度进行标识, 精确到 1 m; 系统的时间分辨率 1 h, 即每小时选择正点时间对全网数据进行一次采集和分析, 将每个小区的话务量按用户行为模型和 TA 段覆盖面积比例, 换算成每个网格的用户数后再累加; 时间延迟小于 0.1 h 意味着从正点开始, 数据经采集、交换、汇总、计算、入库、制图、分发等全部过程在 5 分钟内完成, 从第 6 分钟开始所有授权用户已可查询到相关信息。

2.3 地理信息

本文使用了由深圳市规划国土委员会提供的深圳市 1:10000 地理信息资料, 其中包括行政区、海拔高度、道路、建筑物等信息。地理信息的处理方法是将整个深圳城市, 按 2 m×2 m 网格划分成约 5×10⁸ 个信息点, 再利用各信息点内的数据统计计算各 1 km×1 km 网格的地理信息, 如: 网格平均海拔高度是用某个网格内 25×10⁴ 个信息点的实际海拔高度求算术平均值; 网格建筑密度是指每个网格内, 有建筑物的信息点数与全部信息点总数的比值; 网格道路密度是指所有等级道路 (不含非等级道路、小区内道路和人行道等) 所占的信息点数与全部信息点总数的比值。

3 空间分布特征

根据移动基站连接用户数 100 天资料计算得到的全市总人口是 1082.59 万人, 高于统计的常住人口 23.6%, 低于实际管理人口约 10%, 从概率统计的角度看, 本文中所有的人口数据乘上系数 1.11, 就近似于实际管理的人口数据。

3.1 细网格人口分布

图 1 展示的是 1km 网格深圳市人口密度分布, 从图中可知: 深圳人口从龙岗中心区到整个特区再接宝安的沿海区域呈明显的带状分布。以任何一个高密度点为中心, 人口分布都呈现出完全的非对称结构, 这说明各类 PDGM 模型, 无论是对数模型还是指数模型, 在

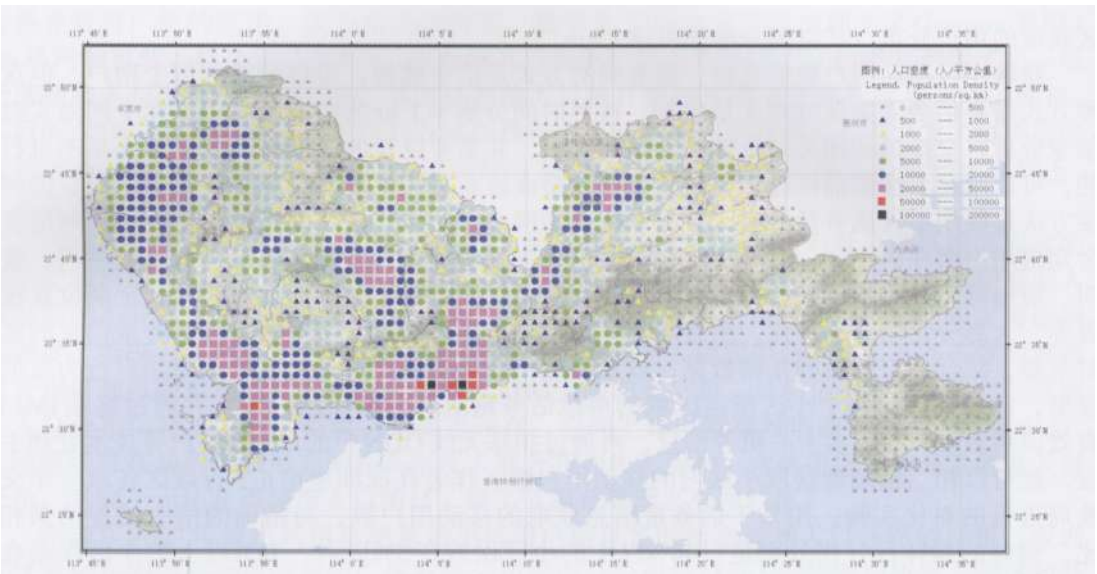


图1 深圳市人口密度分布
Fig. 1 Population density distribution in Shenzhen

描述人口分布时都会与真实人口分布产生明显的偏差。根据计算，深圳的平均人口密度5545人/km²；全市有2个网格的人口密度在10万人以上，最高是华强北商业区16.5万人/km²，约是全市平均值的30倍，以前同类研究得到的最高密度通常是平均值的10倍左右，其次是地王大厦附近的商业区12.4万人/km²；人口密度5~10万人/km²之间的有6个网格，分别是：国贸中心附近的商业区6.79、岗厦城中村6.32、东门商业区6.19、中信广场商业区6.04、深圳火车站和罗湖海关片区5.20、深圳西火车站及周边居民区5.07，上述分析表明，深圳密集人口主要分布在商业中心区，其次是交通枢纽区，再次为居民集中居住区。

3.2 最高人口密度

最高人口密度是人口分布研究中的重要参数，大多数的PDGT方法，无论是基于指数分布还是对数分布，都需要有个中心点的人口密度，这个点的密度是模型适用范围内的最高值点，这个点数值的选取，直接关系到模型其他参数的确定，而这个数值与真实值之间的误差，会直接影响模型分析结果的精确程度。

最高人口密度的数值与选择的网格大小有关，网格越小密度值越高，图2是按不同的网格面积在深圳市范围内搜索的最高人口密度，范围内从1 km²到1225 km²。从图上可知，最高人口密度随网格面积的变化大体可分为3部分：100 km²以上为平缓变化区，10~100 km²为明显变化区，10 km²以内为急剧变化区。如以1000 km²网格的最高人口密度为基数1，则500

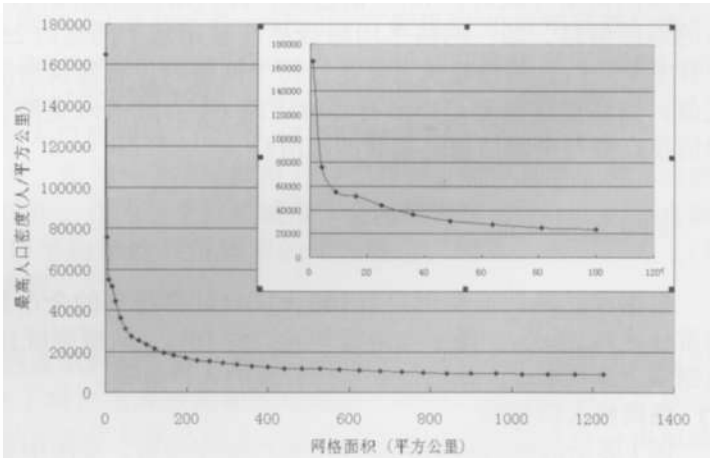


图2 最高人口密度随网格面积的变化

km² 网格最高人口密度相对于基数的倍数为 1.29, 100 km² 网格为 2.56, 10 km² 网格为 5.97, 1 km² 网格为 18.03。平缓变化区大致对应的是区、镇尺度的人口分布, 明显变化区对应的是城市中心区尺度的人口分布, 而急剧变化区对应的是商业中心尺度的人口分布。由此可见, 不同空间尺度的人口分布规律是有显著差异的。

3.3 地理要素与人口分布

人口分布不仅受地理环境的制约, 也受社会经济发展水平的影响。由于资料的限制, 本节没有分析社会经济活动对人口分布的影响, 而主要分析地理环境中海拔高度、建筑物密度、道路系统等与人口分布之间的关系。

(1) 累积占地

图 3a 给出的深圳城市人口与土地空间利用之间关系的洛伦兹曲线 (Lorenz curve), 它是将所有网格上的人口数据从小到大排序后, 对占地面积和人口数分别累加并计算百分比后得出的累积人口与累积占地之间的对应关系。如果人口是完全平均分布的, 该曲线应该是一条直线。图中洛伦兹曲线中不同曲线段的颜色对应不同的人口密度等级, 划分标准与图 1 相同。从图中可以看出, 高度城市化的深圳, 人口分布也是高度聚焦的, 约有 50% 的人口聚集在 10% 的空间范围内, 在这范围内人口接近均匀分布, 如图 2 中的小图所示; 50% 的空间范围内聚集了约 95% 的人口, 约有 30% 的空间处于基本没有人员活动的状态, 接近于原生生态环境, 说明深圳城市在高强度开发的同时十分注重对自然生态环境的保护。

(2) 海拔高度

深圳是一个海滨城市, 全市平均海拔高度 89.6 m, 按 1 km² 网格为单元, 最高海拔高度 754.4 m。图 3b 给出不同海拔高度上人口的分布情况, 图中折线表示海拔高度的土地面积占总土地面积的百分比, 柱线表示对应海拔高度上人口占总人口的百分比, 垂直方向采用对数坐标。从图 3b 可知, 深圳城市人口集中分布在海拔高度 100 m 以下的区域, 其中海拔高度在 0~50 m 的土地面积占总面积的 24.6%, 对应的人口比例是 30.7%, 50~100 m 的

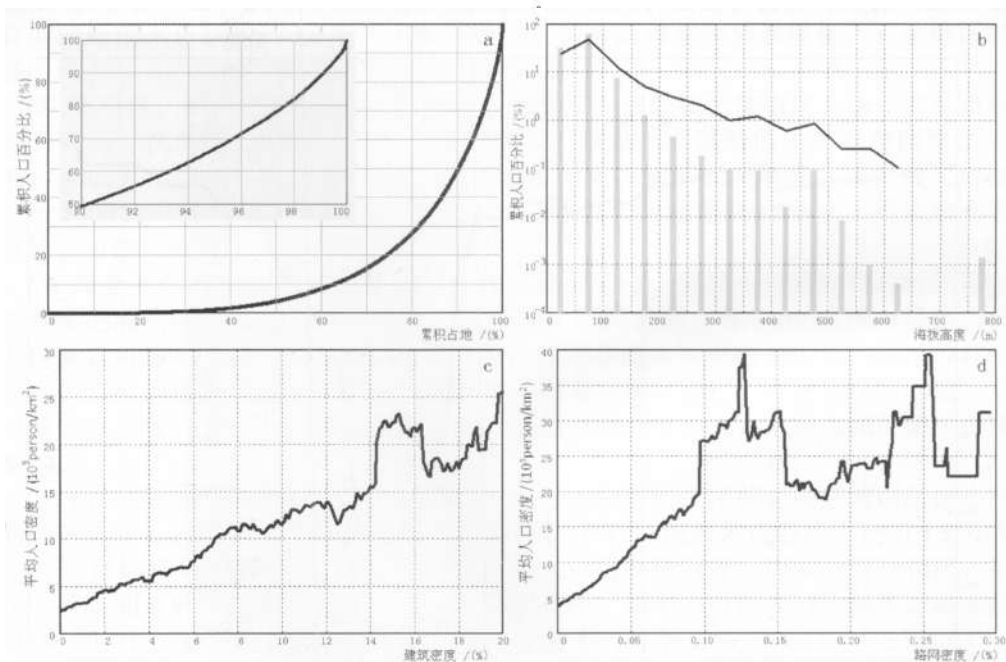


图 3 地理要素与人口分布的关系 (a) 累积占地 (b) 海拔高度 (c) 建筑密度 (d) 道路密度

Fig. 3 The relations between population density and (a) percentage of occupied land area; (b) elevation; (c) building density; and (d) road density

土地面积占总面积的48.3%，对应的人口比例是60.0%，仅有9.3%的人口分布在海拔高度100 m以上的区域。300 m以上区域的人口不足5万人，500 m以上区域的人口在2000人以下。

(3) 建筑密度

深圳是一个开发强度很高的城市，全市的建筑密度，即建筑物占地面积与土地总面积之比，已达3.4%；最高的网格建筑面积为24.8%。图3c给出网格建筑密度与对应网格平均人口密度之间的关系。从图中可知，网格建筑密度与人口密度之间存在着良好的线性关系，网格建筑密度增加1%，对应人口约增加1000人。图3c同时说明用建筑密度作为权重来推算一个区域的人口分布是基本合理的，但会存在两方面的问题，一是在某些建筑密度区，如图中14%~17%区段，会与基本的线性关系之间出现明显的偏差，经核查，是因为该区段的网格主要对应的是高层建筑密集的区域；二是上述结果表明的是平均状态，实际上网格数值是离散的。

(4) 道路密度

图3d给出网格道路密度与对应网格平均人口密度之间的关系。从图中可知，当网格道路密度在0.10%以下时，两者之间是线性相关的，道路密度增加0.01%，平均人口约增加2000人；网格道路密度在0.10%~0.22%之间时，人口密度基本保持不变；当网格道路密度达到0.25%时，人口密度出现峰值，该区域对应的是交通枢纽地段。

4 时间分布特征

4.1 假日突变

一个城市的总人口在一定时期内是相对固定的。图4给出的是深圳城市总人口的逐日变化，从图中可知，尽管每天都有大量人员进出深圳，但城市总人口在一定时期内的变化

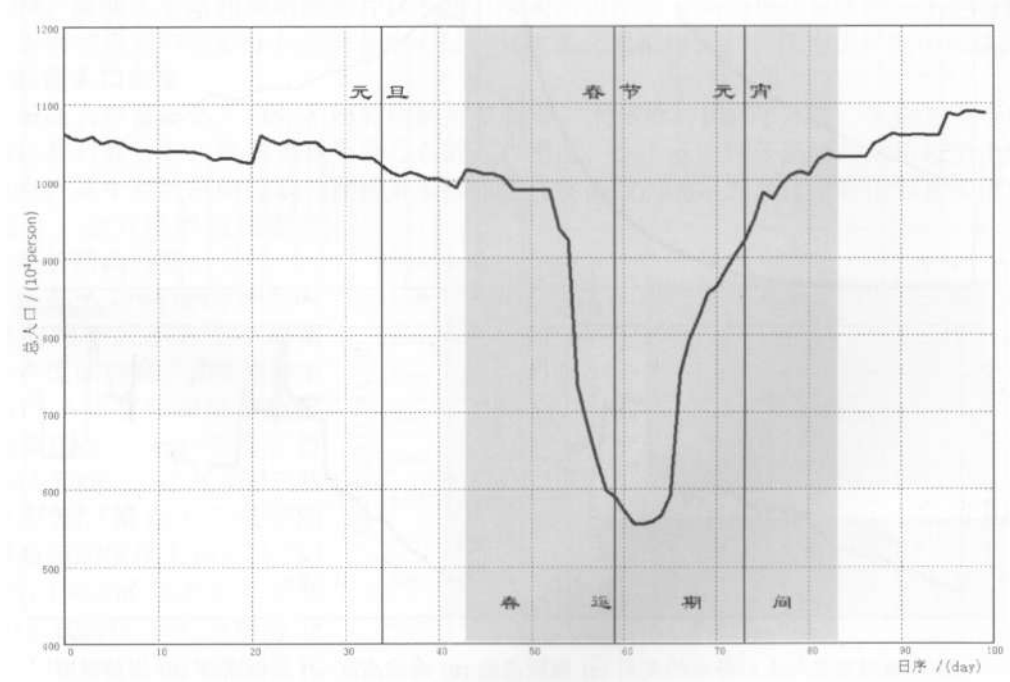


图4 深圳总人口的逐日变化 (100天，2008年11月28日-2009年3月8日)

是不大的,比如在日序0~30的30天中,人口的变化幅度在4%以内,约相当于40万人,逐日之间的人口变化通常在1%左右。

深圳是个典型的移民城市,暂住人口高达78%;深圳是一个年轻的城市,人口平均年龄不到30岁;深圳又是一个人均机动车拥有量最多的城市。这些特征导致深圳城市人口会在节假日期间发生突变现象。图4阴影部分给出的是2009年春运期间人口的逐日变化,从图中可知,春节期间由于大量人口返乡或外出旅游,深圳人口净减少48%,约相当于500万人。人口最低值出现在大年初三(1月28日);在春运开始前离开深圳的人员不多,累计约50万人;离深高峰从节前一周的1月18日(年二十三,星期六)开始,最高峰在1月22日(年二十七),当日离深人数约190万人,23-24日平均每天离深70万人,大年三十离深人数骤减到10万人以下;大年初一、初二出现旅游活动高峰,离开深圳人口比进入深圳人口每天净多出约20万人。约50%的返乡人员在春节7天长假结束前返回深圳;元宵节结束后的2天内,90%以上的离深人员均已返回深圳;春运结束前,人口基本恢复到正常状态。

4.2 日变化

城市社会经济的高速运转,导致城市人口分布具有明显的日变化规律。城市的多元化结构导致人口密度日变化的复杂多样,图5选择了9个典型的区域分析人口日变化规律,由于每个网格涉及1 km×1 km的范围,社会元素的构成是复杂的,只能相对来说某些因素占主要成分,或形成了一些特征。

(1) 海关区:图5a 网格覆盖了深圳罗湖口岸,也包括深圳火车站、长途汽车站的部分区域。这是一个典型的早高峰型网格,高峰时段出现在早晨8时前后,该时段集中了大量的出境、出行、出游人员,峰值人口比常态人口多出约2.5万人。中午13时前后为谷值时段,傍晚19时前后会形成一个返深人员相对集中的时段。周末与周日之间的差别主要表现在下午,周末平均偏少约4000人,可能与周末出游人员返深时间相对偏晚有关。春节假日期间峰值人口减少约3.2万人(减少36%),但早高峰规律依然保持,只是峰区的形态平缓了许多。

(2) 集市区:图5b 网格覆盖了新秀村,相当于一般城镇的集市区,由小商品市场、菜市场、食街、汽车交易中心、居民小区等构成。这是一个典型的午高峰型网格,中午13时前后形成人口高峰,晚上20时前后由于食街的人流而形成次高峰。该区域人口密度不高,约5500人,接近全市平均值,峰值人口与谷值人口相差约1500人。周末没有明显的次高峰,可能与到食街消费的人员减少有关。

(3) 商业中心:图5c 网格覆盖的是华强北商业中心,深圳人口密度最高的区域。这是一个典型的晚高峰型网格,高峰时段出现在晚上19时前后,在1 km²范围内峰值人口与谷值人口相差可达10万人。下午13-18时,每小时的净流入人员约2万人,晚上20时后,净流出人员也可到达与净流入时段相当的强度。周末与周日相比,日变化规律一致,只是高峰时段人口总数约少1万人(6%)。春节假日期间,晚高峰消失,人员大幅度减少,减幅高达85%。

(4) 居民区:图5d 网格覆盖的是南山中心区的密集居住区域,该区域以居民小区、配套商业区为主,这是一个典型的午低谷型网格,中午11时前后形成谷底,约有1.5万人净流出,下午15时以后陆续返回,早晨7时前后是人口最高峰时段。周末与周日相比,上午的规律一致,周末的下午到晚上会形成明显的次高峰,周末各时段人口均偏多,最多相差可达5000人以上。春节假日期间的人口仅相当于常态人口的55%。

(5) 行政中心:图5e 网格覆盖的是市民中心,该区域以市政府行政办公和图书馆等公共服务为主,人口以政府公务人员及其服务对象为主。这是一个周末和周日人口差别最明显的网格,14-20时周日人口比周末平均多出8000人。春节假日期间,日变化规律消失,

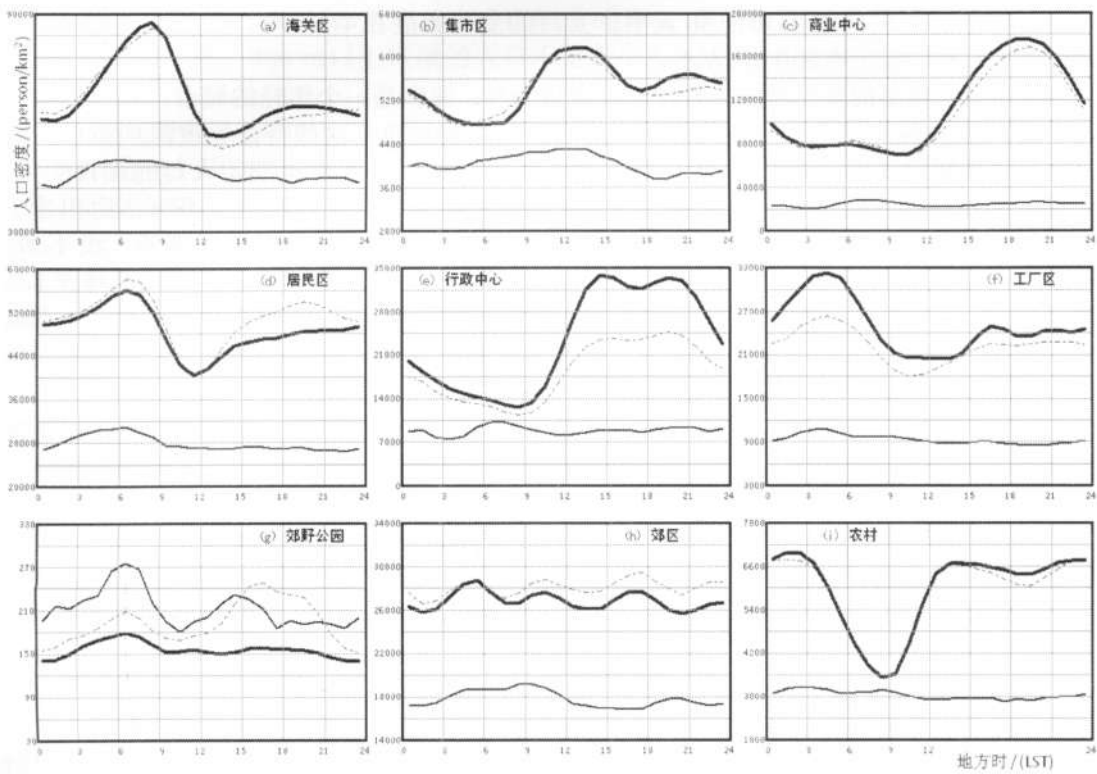


图5 9个典型网格的人口密度日变化
(点线为周末平均值、粗实线为工作日平均值、细实线为春节假日期间的平均值)

Fig. 5 Daily variation of population density in 9 typical grids

(Dot line for weekend average, thick solid line for weekday average, thin solid line for Chinese New Year)

人员明显减少，减幅达75%。

(6) 工厂区：图5f 网格覆盖的是西丽的工厂区。该区域最主要的特点是全天各时段，周日的人口都比周末多，人口的高峰形成在夜间4时前后，这可能与工厂区利用夜间错峰用电，密集生产有关。春节假日期间，人口减少70%以上。

(7) 郊野公园：图5g 网格覆盖的是梧桐山公园主峰附近的高海拔区域。该网格最主要的特点是，在深圳春节假日期间人口大幅减少48%的背景下，该区域的人数不减反增，早晨登山人员明显增加。该网格的另一个特点是周末各时段的人数都比周日多，说明许多居民都选择在周末开展户外登山和郊游活动。

(8) 郊区：图5h 网格覆盖的是一个相对偏僻的区域（观澜镇），这里由于交通等条件限制，形成了相对独立的空间。此网格上的人口日变化振幅较小，人口基本保持在2.7万人左右，每天形成4个峰值（5时、10时、17时、22时）和4个谷值（2时、8时、14时、20时），综合反映了区域内的各种社会活动。该网格上周末的日变化规律与周日相同，只是人口多出约2000人，春节假日期间离深人数的比例为33%，低于全市平均值。

(9) 农村：图5i 网格覆盖的是一个传统农业区，沙井镇的蚝养殖区。该区域在上午9时形成低谷，人员减少45%，与农村日出而作的传统习惯相对应，下地干活的人员在13时以前陆续返回，下午和晚上人口基本稳定不变，只是在晚饭后有少量人员外出；该区域另一个特点是周末和周日的变化规律几乎完全一致，只是周末在晚饭后外出人员略有增加。春节假日期间农事活动暂停，全天人口基本恒定，没有明显的日变化。

5 结论

为应对突发事件而构建的应急处置系统、数字化城市管理系统以及灾害风险动态评估等需要实时获取精准的人口时空动态分布信息。目前移动电话是普及率最高的通讯终端设备, 深圳市的移动电话普及率高达90%以上, 绝大多数终端用户会随身携带移动电话, 移动电话用户的动态分布可以准确地反应整个城市人口的分布情况。作者在2007年提出利用移动基站手机用户信息实时动态监测人口分布的设想, 经深圳市气象台和中国移动通信集团广东有限公司深圳分公司合作研发, 基于移动基站的人口分布动态监测系统于2008年11月投入业务运行, 该系统可全年365天不间断地提供时间分辨率1 h, 空间分辨率1 km, 时间延迟小于0.1 h的人口密度信息。本文利用该系统获取的第一个100天资料, 得到深圳市人口分布的细网格动态的基本特征:

(1) 深圳作为中国人口密度最高的城市, 移动手机用户信息推算的总人口是1082.59万人, 平均人口密度5545人/km², 最高16.5万人/km², 人口密度超过5.0万人/km²的区域主要分布在商业中心、海关口岸、火车站、和居民集中居住区, 约占全市总面积的0.4%。

(2) 最高人口密度是人口分布研究中的重要参数, 其数值大小与选择的网格尺度有关, 网格越小密度值越高。网格面积100 km²以上大致对应的是区、镇尺度的人口分布, 变化平缓; 10~100 km²对应的是城市中心区尺度的人口分布, 变化明显; 10 km²以内对应的是商业中心尺度的人口分布, 变化剧烈。如以1000 km²网格的最高人口密度为基数1, 则100 km²网格为2.56、10 km²网格为5.97、1 km²网格为18.03。

(3) 深圳城市的人口分布与海拔高度、建筑密度、道路密度等地理要素密切相关, 并呈现出明显的空间聚集特征。在深圳50%的人口聚集在10%的空间范围内, 约有30%的空间基本没有人员活动; 60%的人口分布在海拔高度50~100 m的土地上; 网格上的建筑密度、道路密度与人口密度线性相关, 建筑密度增加1%, 对应人口增加约1000人, 道路密度增加0.01%, 人口增加约2000人。

(4) 深圳城市总人口在一定时期内是相对固定, 变化幅度在4%以内, 逐日之间变幅在1%左右。深圳是个典型的移民城市, 春节期间由于大量人口返乡或外出旅游, 总人口净减少48%。本文选择9个典型网格分析人口日变化规律: 海关口岸属于早高峰型, 大量的出境、出行、出游人员在早晨8时前后集中; 城镇集市区属于午高峰型; 商业中心区属于晚高峰型, 高峰前后每小时的净流入(出)人员可达2万人; 居民区属于午低谷型, 周末与周日相比各时段人口均偏多; 政府行政办公和公共服务区, 周末比周日人口明显减少, 春节期间减幅75%; 工厂区因错峰用电, 夜间4时形成人口高峰; 郊野公园春节期间人数不减反增; 偏僻乡镇人口日变化振幅很小; 农业区在上午9时形成人口低谷, 与日出而作的传统习惯相对应。

参考文献 (References)

- [1] Wang Guixin. Population Distribution and Regional Development of Economy in China. Shanghai: East China Normal University Press, 1997. [王桂新. 中国人口分布和区域经济发展. 上海: 华东师范大学出版社, 1997.]
- [2] Liu Jiyuan, Yue Tianxiang, Wang Ying'an et al. Digital simulation of population density in China. *Acta Geographica Sinica*. 2003, 58(1): 17-24. [刘纪远, 岳天祥, 王英安 等. 中国人口密度数字模拟. 地理学报, 2003, 58(1): 17-24.]
- [3] Zhuo Li, Chen Jin, Shi Peijun et al. Modeling population density of China in 1998 based on DMSP/OLS nighttime light image. *Acta Geographica Sinica*. 2005, 60(2): 266-275. [卓莉, 陈晋, 史培军 等. 基于夜间灯光数据的中国人口密度模拟. 地理学报, 2005, 60(2): 266-275.]
- [4] Tolba M K. Human Settlement. *The World Environment 1992*. Chapman and Hall on behalf of UNEP, 1992: 61-104.
- [5] Skole D L. Data on global land-cover change: Acquisition, assessment, and analysis//William B Meter//Changes in Land Use and Land Cover: A Global Perspective. Cambridge: Cambridge University Press, 1994: 437-472.
- [6] Fu Haiyue, Li Manchun, Zhao Jun et al. Summary of grid transformation models on population data. *Human*

- Geography, 2006, 21(3): 115-120. [符海月, 李满春, 赵军 等. 人口数据格网化模型研究进展综述. 人文地理, 2006, 21(3): 115-120.]
- [7] Fan Yida, Shi Peijun, Gu Zhihui et al. A method of data gridding from administration cell to gridding cell. *Scientia Geographica Sinica*, 2004, 24(1): 105-108. [范一大, 史培军, 辜智慧 等. 行政单元数据向网格单元转化的技术方法. 地理科学, 2004, 24(1): 105-108.]
- [8] Lu Anmin, Li Chengming, Lin Zongjian et al. Spatial transformation for statistical population data. *Arid Land Geography*, 2002, 25(2): 170-175. [吕安民, 李成名, 林宗坚 等. 人口统计数据的空间转换. 干旱区地理, 2002, 25(2): 170-175.]
- [9] Jiang Dong, Yang Xiao Huan, Wang Naibin et al. Study on spatial distribution of population based on remote sensing and GIS. *Advance in Earth Sciences*, 2002, 17(5): 734-738. [江东, 杨小唤, 王乃斌 等. 基于RS、GIS的人口空间分布研究. 地球科学进展, 2002, 17(5): 734-738.]
- [10] Liao Shunbao, Sun Jiulin. Quantitative analysis of relationship between population distribution and environmental factors in Qinghai-Tibet Plateau. *China Population, Resources and Environment*, 2003, 13(3): 62-67. [廖顺宝, 孙九林. 青藏高原人口分布与环境关系的定量研究. 中国人口.资源与环境, 2003, 13(3): 62-67.]
- [11] Yin Jingyuan, Zhang Guifang, Shan Xinjian. Simulating population density based on TM Images: Taking Beijing as an example. *Journal of Catastrophology*, 2007, 22(1): 31-35. [尹京苑, 张桂芳, 单新建. 基于TM影像的人口密度数字模拟: 以北京地区为例. 灾害学, 2007, 22(1): 31-35.]
- [12] Tian Yongzhong, Chen Shupeng, Yue Tianxiang et al. Simulation of Chinese population density based on land use. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(2): 283-292. [田永中, 陈述彭, 岳天祥 等. 基于土地利用的中国人口密度模拟. 地理学报, 2004, 59(2): 283-292.]
- [13] Peng Zhenwei, Lu Jianpu. Optimizing the population distribution structure in Shanghai. *Urban Planning Forum*, 2002, (2): 21-26, 79. [彭震伟, 路建普. 上海城市人口布局优化研究. 城市规划汇刊, 2002, (2): 21-26, 79.]
- [14] Meng Qingyan, Xu Haolan. A concept model on the interaction relationship between urban public transport routes & stations and population distribution. *Urban Public Transport*, 2007, (8): 28-32. [Meng Qingyan, Xu Haolan. A concept model on the interaction relationship between urban public transport routes & stations and population distribution. Urban Public Transport, 2007, (8): 28-32.]
- [15] Gao Zhiqiang, Liu Jiyan, Zhuang Dafang. The relations analysis between ecological environmental quality of Chinese land resources and population. *Journal of Remote Sensing*, 1999, 3(1): 66-70. [高志强, 刘纪远, 庄大方. 基于遥感和GIS的中国土地资源生态环境质量同人口分布的关系研究. 遥感学报, 1999, 3(1): 66-70.]
- [16] Lai Yuhong, Fang Yibo, Wang Junjie. The medical facilities and population distribution in Guangzhou. *South China Population*, 2002, (4): 48-52. [赖玉红, 方一波, 王俊杰. 广州市人口分布与医疗卫生资源配置存在的问题. 南方人口, 2002, (4): 48-52.]
- [17] Zhang Tianrun, Wang Yu. A preliminary study on the relationship between the distributions of population and earthquake in China. *Earthquake Research in China*, 1986, 2(3): 82-87. [张天润, 王瑀. 中国人口分布和地震分布的关系初探. 中国地震, 1986, 2(3): 82-87.]
- [18] Cao Aili, Zhang Hao, Zhang Yan et al. Decadal changes of air temperature in Shanghai in recent 50 years and its relation to urbanization. *Chinese Journal of Geophysics*, 2008, 51(6): 1663-1669. [曹爱丽, 张浩, 张艳 等. 上海近50年气温变化与城市化发展的关系. 地球物理学报, 2008, 51(6): 1663-1669.]
- [19] Tobler W, Deichmann U, Gottsegen J. World population in a grid of spherical quadrilaterals. *International Journal of Population Geography*, 1997, (3): 203-225.
- [20] Loibl W, Toetzer T. Modeling growth and densification processes in suburban regions: Simulation of landscape transition with spatial agents. *Environment Modeling and Software*, 2003, 18(6): 553-563.
- [21] Shenzhen Statistics Bureau. *Shenzhen Statistical Yearbook-2006*. Beijing: China Statistics Press, 2006: 25-27. [深圳市统计局. 深圳统计年鉴(2006). 北京: 中国统计出版社, 2006: 25-27.]

Fine Grid Dynamic Features of Population Distribution in Shenzhen

MAO Xia¹, XU Rongrong², LI Xinshuo¹, WANG Yu², LI Cheng¹,

ZENG Bo², HE Yuhua¹, LIU Jinquan¹

(1. Meteorological Bureau of Shenzhen Municipality, Shenzhen 518040, Guangdong, China;

2. China Mobile Communications Corporation Guangdong Co. Ltd. Shenzhen Branch, Shenzhen 518048, Guangdong, China)

Abstract: Shenzhen is the most densely populated city in China. In order to respond to emergencies, such as natural disasters, real time high resolution dynamic information of population distribution is needed. This paper analyzes the fine grid dynamic characteristics of Shenzhen population distribution, using the information of population density in respect of which the temporal resolution is an hour and the spatial resolution is a kilometer provided by the “Dynamic Monitoring System of Population Distribution Based on Mobile Stations”. The mobile subscribers in Shenzhen total to 10.8259 million. The average population density is 5545 people/km², and the maximum density reaches 165,000 people/km². High density areas which have more than 50,000 people/km² are mainly the business centers, custom ports, railway stations, and large residential communities. The value of the maximum population density depends on the size of grid used, for example the value of 1 km² grid is about 18 times than the value of 1000 km² grid. Some 50% of the population in Shenzhen is concentrated in 10% of the city's spatial area, and 60% resides in the areas where altitudes are between 50 m to 100 m. The building density and the road density on the grid are linearly correlated with population density, that is, 1000 people are added when the building density increases by 1%, and about 2,000 people are added when the road density increases by 0.01%. The total population of a city is relatively stable during a period of time, the variation of which is commonly less than 4% and the daily variation is about 1%. Shenzhen is a typical immigration city, and the total population will decrease by 48% during the Chinese New Year because a lot of people will go back to their hometowns or travel around. This paper selects 9 typical grids to analyze the daily variation of the population and they are as follows: custom ports have a morning peak, and people going outbound crowd here at about 8 a.m.; bazaar areas have a noon peak; business centers have an evening peak with a net inflow/outflow over 20,000 people/hr; residential communities have a noon trough, and the density of population is always bigger on the weekends than on the weekdays; in the government offices and public service areas, there are fewer people on the weekends than on the weekdays and the population is decreased by 75% during the Chinese New Year; the factory area has a peak of population at about 4 a.m. because of the peak load shifting; outing area is more crowded during the holidays and weekends; in the out-of-the-way area, the daily variation of population is very little; and in the farming area, there is a morning trough of population at about 9 a.m. which corresponds to the traditional farming habits.

Key words: population density; fine grid; dynamic distribution; Shenzhen