

近 30 a 来福州盆地中心的城市扩展进程

徐涵秋

(福州大学环境与资源学院, 福州大学遥感信息工程研究所, 福建 福州 350108)

摘要: 位于福州盆地中心的福州市在城市化进程的推动下, 城市空间快速扩展。利用多时相遥感影像和 IBI 建筑用地指数获得的建筑用地信息表明, 福州市建成区在 1976~2006 年的 30 a 间面积增加了 105 km², 增幅达到 3.2 倍。由于金山、快安等新城区的形成和马尾区的扩展, 整个福州城区从西到东几乎连成一片, 城市扩展经历了先慢后快, 先北、后东、西的扩展历程。研究发现, 福州城市的空间扩展并不属于工业主导型, 而是第三产业推动型。城市空间的快速扩展已给福州带来了一定的环境资源问题, 其中最突出的就是城市热岛效应与城市建筑用地总量控制问题。

关键词: 城市扩展; 遥感信息提取; IBI 指数; 驱动力; 福州

中图分类号: TP751/X16 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2011)03-0351-07

当前, 城市化进程正在全球范围内以前所未有的速度进行。城市化在给世界带来繁荣和进步的同时, 也给全球的生态环境带来了明显的负面影响。城市的扩展已使全球 40% 的地表在过去的 100 a 里发生了显著的变化^[1], 原来以植被为主的自然景观逐渐被众多的人工建筑物所取代, 大量人口在城市的聚集又造成了人为排放的温室气体浓度急剧增加。城市化引起的人为排放温室气体所造成的全球气候变暖已经引起了全世界的普遍关注^[2]。

改革开放以来, 中国的城市化进入快速发展阶段, 城市化水平已经从改革开放初期 1978 年的 17.9% 上升到 2008 年的 45.7%^[3]。与此同时, 城市化引发的各种生态环境问题也日益突出^[4,5]。位于福州盆地中心的福州市在改革开放以来城市化水平大幅提高, 城市空间范围急剧扩大, 其所造成的地表自然景观变化对生态环境的胁迫随之显现。最典型的是, 近年来, 福州市区夏季温度屡创记录, 2007 年更是一跃成为媒体评出的中国新三大“火炉”之首。研究表明福州城区在 1996~2005 年间以年均 6%~7% 的速度扩展^[6,7], 主城区中建筑用地过多, 绿地偏少且破碎严重^[8,9], 城市建筑和绿地之间的平均温差可达 4°C^[10], 建筑不透水地面与温度之间表现出明显的指数函数关系, 高不

透水面覆盖地区的升温要明显快于低不透水面覆盖地区, 城市热岛严重^[11,12]。

总的来看, 当前对福州城市空间扩展已有一定的研究基础, 但主要都是局部时段的研究, 难于从较长的时间序列, 特别是改革开放前后的跨度来全面了解福州盆地中心的城市扩展进程。因此, 本文旨在利用遥感技术全面查明福州盆地 1976~2006 年间的城市空间扩展历程及其驱动因子, 研究对城市的科学规划和可持续健康发展具有重要的意义。

1 研究区介绍及方法

1.1 研究区

福州盆地地处戴云山脉东翼, 紧临闽江口, 为一典型的河口盆地, 福建省会城市福州即坐落于该盆地中心(图 1)。闽江由西横贯市区, 往东汇入东海。福州属于亚热带海洋性季风气候, 气温偏高, 夏季以偏南风为主。福州市辖五个行政区有户籍人口 182 万, 常住人口 290 万。本次研究的范围为福州盆地中心的福州市区及其比邻地区, 面积为 1 341.9 km²。

1.2 遥感数据

考虑到遥感卫星数据源的一致性, 本次研究统一采用 Landsat 系列遥感数据。由于福州市的城市热岛在 2007 年达到了前所未有的强烈程度, 本文

收稿日期: 2010-06-27; 修订日期: 2011-01-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(40371107)、福建省教育厅重点项目(JK2009004)资助。

作者简介: 徐涵秋(1955-), 男, 江苏射阳人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事城市环境遥感研究。E-mail: hxu@fzu.edu.cn

研究的重点时段集中在 2007 年以前的 30 a(1976 ~ 2006 年)。选用的时相分别为 1976-03-07 的 MSS 影像、1986-07-25、1996-09-06 和 2006-09-18 的 TM 影像,每隔 10 a 对比一次它们之间的变化。影像的辐射校正采用的是美国建立全国土地覆盖数据库(NLCD)使用的标准化流程,用 Chander 等^[13]和 Chavez^[14]的模型将影像的 DN 值转换为传感器处反射率(at-sensor reflectance),以减少不同时相影像在地形、光照和大气等方面的差异。影像之间采用二次多项式和最邻近象元法进行配准,配准的 RMSE 都小于 0.5 个象元。

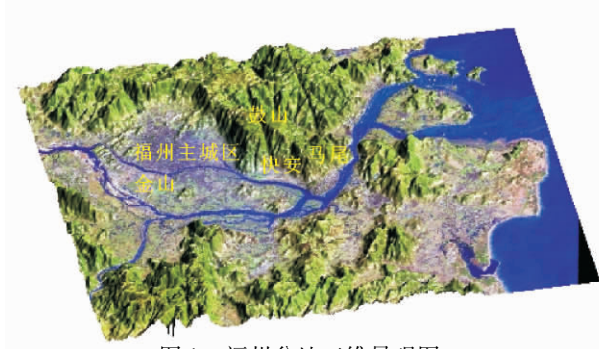


图 1 福州盆地三维景观图

Fig. 1 3D perspective view of Fuzhou Basin

1.3 建筑用地信息提取

建筑用地是一种复杂的土地利用类型,其电磁波反射光谱表现出明显的异质性。因此,很难用简单的方法将其从遥感影像中准确地提取出来。城市建筑用地的遥感信息提取通常采用人机交互的手工方式和影像分类提取技术,自动化程度不高,许多方法如果不做后续处理,精度无法满足要求。近年来,基于指数的建筑用地提取技术相继提出^[15~17],其中徐涵秋(2005,2008)提出的 IBI(Index-based Built-up Index)建筑指数的表达式为^[16,17]:

$$IBI = \frac{NDBI - (SAVI + MNDWI) / 2}{NDBI + (SAVI + MNDWI) / 2} \quad (1)$$

式中:SAVI 为土壤调节植被指数^[18];MNDWI 为改进水体指数^[19];NDBI 为建筑指数^[15]。

该指数基于压缩数据维技术^[16],首次提出用指数波段(而不是影像的原始波段)来构建指数。由于采用面向专题技术^[20],所选的三个指数分别代表三种最主要的地类,且多为负相关,避免了数据的冗余性。在由这三个指数构成的特征空间里,建筑用地可以很好地和其它地类区别开来^[17],其提取精度最高可达 98%^[20]。因此,本文采用 IBI 指数来提取研究区的建筑用地信息(图 2)。由于构建 IBI 指数的 MNDWI 指数需要用到中红外波段^[19],而 1976 的 MSS 影像没有该波段,所以只能用监督分类来获得 MSS 影像的建筑用地信息。

将所获得的建筑用地信息分别与同期或准同期的 SPOT-Pan 10 m 分辨率影像进行精度验证。对于 1976 年的影像,由于当时没有更高分辨率的影像,所以只能将提取结果与原影像进行对比。采用随机抽样的方法在每个年份的建筑用地影像中各采集 300 个样本。精度验证表明 1976 年、1986 年、1996 年、2006 年的建筑用地提取精度分别为 87.5%、93.1%、96.2% 和 93.6%。由于 1976 年 MSS 影像的分辨率为 59 m,因此分类精度要明显逊色于 30 m 分辨率的 TM 影像。最后分别对各相关年份的地图进行矢量化,并结合影像判读来获得各年份城市建成区的矢量边界图,然后用其对所提取的建筑用地信息进行掩膜,获得了各年份的城市建成区范围(图 3)。

1.4 城市空间扩展度量

城市空间扩展过程的一个重要度量指标就是单位时间内非城市用地向城市建筑用地的转化度。因此可采用城市化强度(M)^[21]来度量福州建成区的扩展进程:

$$M = U/R \times T^{-1} \times 100 \quad (2)$$

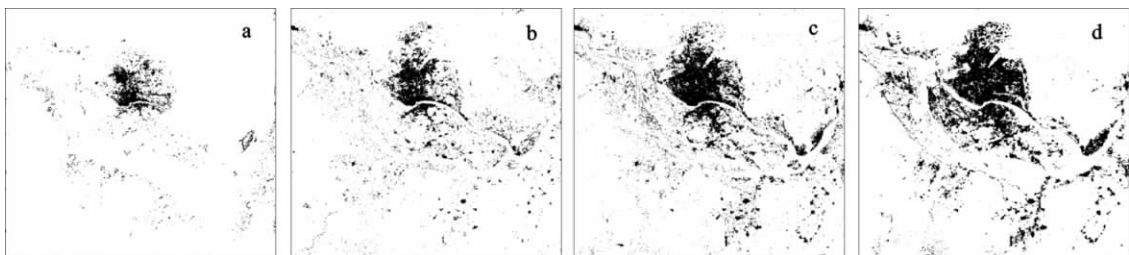


图 2 研究区不同年份的建筑用地分布 (a. 1976 年; b. 1986 年; c. 1996 年; d. 2006 年)

Fig. 2 Built-up lands in Fuzhou Basin in 1976-2006

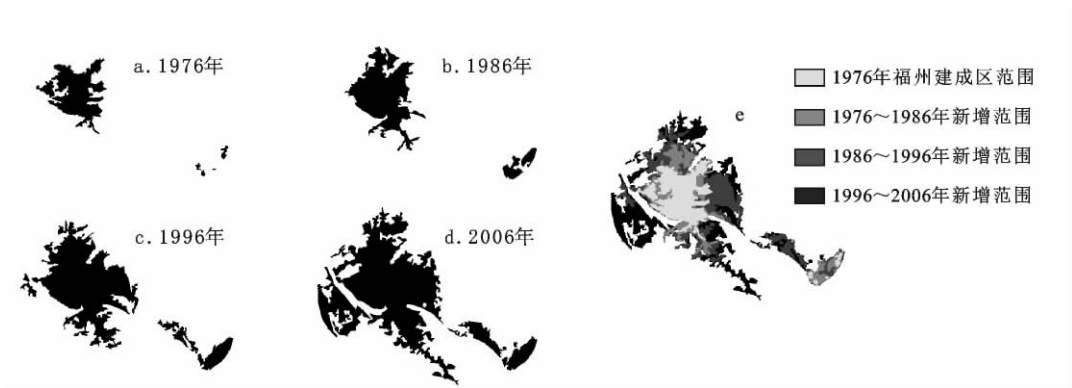


图 3 福州建成区空间范围变化

Fig. 3 Urban built-up area of Fuzhou Basin in 1976 - 2006

式中, U 为在某一时间段的城市扩展过程中, 研究区中非城市象元转化为城市建筑用地象元的面积 (km^2); R 为研究区内城市扩展前的非城市象元总面积 (km^2); T 为该时间段的长度 (a)。

城市空间扩展还可以用单位时间内城市的扩展面积来度量, 因此, 城市扩展强度 (G) 可表示为:

$$G = \Delta A / TA \times T^{-1} \times 100 \quad (3)$$

式中, ΔA 为某时段城市扩展净增面积 (km^2); TA

为研究区总面积 (km^2); T 为该时段的长度 (a)。

为了考察城市空间扩展及其用地规模的合理性, 进一步引入建筑用地人口密度 B [22]:

$$B = P / BA \quad (4)$$

式中, P 为市区非农业人口 (万人); BA 为城市建筑用地面积 (km^2)。

根据以上方法获得的各种数据列于表 1。

表 1 研究区建筑用地及其相关指标

Table 1 Built-up lands and related indicators in Fuzhou Basin

	1976 年	1986 年	1996 年	2006 年	增加		
					1976 ~ 1986 年	1986 ~ 1996 年	1996 ~ 2006 年
研究区内面积 (km^2)	48.32	81.29	133.63	185.70	32.97	52.34	52.07
占研究区比例 (%)	3.60	6.06	9.96	13.84	68.23	64.39	38.97
建成区内面积 (km^2)	21.58	33.31	61.80	101.78	11.73	28.49	39.98
占建成区比例 (%)	65.28	66.60	68.39	73.82	54.36	84.87	64.69
建筑用地人口密度 (万人/ km^2)	2.78	2.42	1.63	1.47	-0.37	-0.79	-0.17
建成区面积 (km^2)	33.06	50.01	90.36	137.87	16.95	40.35	47.51
城市化强度			-		0.089	0.218	0.312
城市扩展强度			-		0.126	0.301	0.354
研究区面积 (km^2)		1341.88			-	-	-

2 结果与分析

2.1 建筑用地变化

福州盆地的建筑用地面积在近 30 a 里有了大幅度的增加。表 1 和图 2 表明整个研究区中的建筑用地面积从 1976 年的 48.32 km^2 , 增加到 2006 年的 185.70 km^2 , 净增 2.8 倍, 增加面积达 137.38 km^2 。而城市建成区中的建筑用地面积增幅更大, 从 1976 年的 21.58 km^2 到 2006 年的 101.78 km^2 , 30 a 里增加了 3.7 倍, 净增了 80.2 km^2 , 占建筑用地总增加面积的 58.37%。说明研究区中所增加

的建筑用地有 58.37% 是发生在城市中, 而大片的郊区和农村仅占了 41.63%。

2.2 城市空间扩展

在这 30 a 里, 福州建成区的空间范围从 1976 年的 33.06 km^2 增加到 2006 年的 137.87 km^2 , 净增 104.81 km^2 。从表 1 可知, 福州城市的快速扩展主要体现在 1986 年以后的 20 a, 其建筑用地面积扩展速度、建成区面积扩展速度、城市化强度指数、城市扩展强度等各个指标都成倍地高于前 10 a。而在后 20 a 中, 1996 ~ 2006 年的速度和强度又大于 1986 ~ 1996 年, 说明福州城市仍在持续高速扩

展。分别考察四个年份的城市建成区分布及其叠加图可以看出,福州城区的空间扩展是以主城区为中心,向东西南北四个方向展开的,并经历了以下过程(图3):① 1976~1986年:城市建成区面积增加了16.95 km²。城区主要往北部扩展,但其东南隅的马尾在这10 a间有了迅速的扩展,面积从原来的1.36 km²迅速增加到5.34 km²,占这一期间城市扩展面积的23.48%。② 1986~1996年:这10 a是福州建成区开始大扩张的10 a,其面积增加了40.35 km²,年均增长速度比前10 a快了1.38倍。城市除了继续往南北方向小幅扩展外,更多的是向东部扩展,并快速推进到鼓山山麓;东南隅的马尾区继续扩张,其与主城区之间的快安一带,开始出现了面积达4.36 km²的新城区。③ 1996~2006年:福州建成区面积突破了100 km²,

10 a间共增加了47.51 km²,速度比前10 a又快了17.75%。这一期间主城区主要朝着西边的金山一带扩展,其扩展面积达到了21.69 km²,占去了这期间扩展面积的45.65%。而东部和北部地区扩展不多,主要表现为主城区的进一步填实,南部则表现为沿福厦公路作带状扩展。由于东南部快安一带进一步快速扩展,使得这期间福州主建成区几乎和快安、马尾连成一片,建成区总面积达到了137.87 km²。

总的看来,福州城市的扩展历程表现为先慢后快、先北、后东、西的时空变化特点。而从城市扩展的方式来看,主要表现为面状扩展,即以中心城市为中心向北、东、西三个方向成片扩展。而带状扩展主要见于南部地区,城市沿福厦公路呈条带状延伸(表2)。

表2 福州城区扩展过程及特点

Table 2 Process and characteristics of urban expansion in Fuzhou Basin

	扩展面积(km ²)	扩展速度	扩展强度	主要扩展方向	主要扩展方式	主要扩展地区
1976~1986年	16.95	慢	弱	北	面状	马尾扩展
1986~1996年	40.35	快	强	东	面状	快安扩展
1996~2006年	47.51	快	强	西	面状、条带状	金山扩展,主城区与快安-马尾相连

3 城市扩展的驱动和影响因子分析

城市空间的扩展与社会经济发展有着紧密的关系,因此可以从中寻找城市扩展的驱动力和影响因子。将表3中各相关或相近年份的福州市的社会经济指标作为自变量($x_1 \sim x_{12}$)^[23-25],将城市建成区面积作为因变量(y)进行逐步回归,以确定对福州城市空间扩展产生重要影响的因子。由于各种数据的量纲不一致,所以必须将各种数据进行正规化,然后进行计算,得到以下回归方程:

$$y = 0.574x_1 - 0.001x_5 + 0.001x_6 + 0.253x_7 + 0.193x_{12} \quad (R^2 = 0.979) \quad (5)$$

从式(5)来看,只有市区人口、第一、二、三产业比重、职工平均工资等指标在逐步回归分析中通过了1%的显著性检验,保留了下来,其中系数为正的有市区人口、第二、第三产业比重、职工平均工资,这说明它们是福州城市空间扩展的主要驱动因素,代表了人口、经济两大驱动力。

(1) 经济发展:改革开放给福州市的经济带来了巨大的飞跃,其地区生产总值从改革开放初期1978年的12.68亿元人民币上升到了2006年的

1 664.05亿元人民币。而作为经济发展的直接受益者,职工平均工资从1978年的533元增加到了2006年的20 666元。仔细分析构成地区生产总值的三大产业比重可以发现,虽然福州市的第二产业在这30 a里有了重大发展,但其比重却从1978年的47.24%降低到2006年的46.06%,同期第一产业的比重也从26.74%下降到11.20%。而第三产业在这一期间的比重却从26.03%上升到42.73%,并在1996年一度超过了第二产业。因此在回归方程中其系数明显大于第二产业,而第一产业的系数则为负值。由此可见,福州城市空间的扩展并不属于工业导向型,第三产业的高速发展才是其主要的推动力。

(2) 人口增加:城市空间范围扩展通常与人口的增加有着密切的关系。从回归方程可以看出,市区人口指标的系数最大,这表明该指标是最重要的驱动因子。福州市区人口在2006年达到了181.72万人,而这一数据在改革开放初期的1978年只有102.76万人。城市人口的大量增长,迫使城市需要为他们提供更多的工作、学习和生活的空间,从而导致城市范围的大面积增加。福州西部的金山

表 3 1978 ~ 2006 年社会经济统计数据

Table 3 Socio-economic data of Fuzhou Basin in 1978 - 2006

	变量名	1978	1985	1990	1996	2002	2006
市区人口(万人)	x_1	102.76	119.61	129.24	139.66	157.63	181.72
市区非农业人口(万人)	x_2	63.37	79.83	87.48	100.81	121.58	149.16
城市化水平(%)	x_3	61.67	66.73	67.69	72.18	77.13	82.08
地区生产总值(亿元)	x_4	12.68	39.76	102.40	575.58	1160.53	1664.05
第一产业比重(%)	x_5	26.74	20.20	29.41	19.27	11.72	11.20
第二产业比重(%)	x_6	47.24	52.97	41.21	38.31	47.97	46.06
第三产业比重(%)	x_7	26.03	26.84	31.78	42.42	40.31	42.73
地方财政收入(亿元)	x_8	2.40	5.14	10.94	30.16	70.44	152.52
财政支出(亿元)	x_9	1.28	4.05	8.28	35.18	68.41	142.30
社会消费品零售总额(亿元)	x_{10}	6.93	20.31	45.28	187.32	430.69	775.53
金融机构年末存款余额(亿元)	x_{11}	7.76	35.13	85.41	518.49	1390.60	2986.25
职工平均工资(元)	x_{12}	533	1081	2128	6453	14046	20666

片区就是 1990 年代后期以来新扩展的以居住为主的新城区。

(3) 政府决策: 城市空间的扩展除了与社会经济因素外, 还与政府的决策密切相关。1978 年的复设马尾镇、1982 年的恢复马尾区、1985 年的兴建福州马尾经济技术开发区, 促使马尾区的面积在 1976 ~ 1986 年期间扩大了 3.1 倍。而东南部 1990 年代兴起的快安新区则与《福州市城市总体规划(1995 ~ 2010)》^①以及这时期在该区兴建的留学人员创业园新区、高新技术园区有密切的关系。在这一轮规划中, 快安被定位以工业用地为主, 用于建设高科技工业区。随着大批高新企业的入驻以及大量厂房的兴建, 快安区从无到有快速扩张, 其面积到 2006 年已达到 7.3 km²。而福州西部金山新城的崛起则是“东扩南进西拓”城市发展指导思想中的“西拓”的直接产物。在短短的几年里, 金山新区的面积达到了近 22 km², 成了福州市区的一个重要的组成部分。

(4) 地理条件: 由于福州主城区地处盆地中心, 其空间扩展明显受到四周山体的限制。早中期往北部的扩展很快受阻于北部的莲花峰。中后期则转向东部扩展, 但推进到鼓山山麓就无法前行。新世纪以来, 福州城区开始往西快速拓展, 并很快蔓延整个西区。目前, 唯有南部地区的扩展相对较慢, 可以预计这一地区将是福州城区未来的主要扩展方向。

4 城市扩展的影响

4.1 城市热岛问题

研究区在这 30 a 里建筑用地共增加了 137.38

km², 其中 58.37% 是增加在城市建成区内, 这意味着城市中有更多的其它用地类型被建筑用地所侵占。叶琳、徐涵秋(2008) 的研究表明, 整个研究区所增加的建筑用地有 81% 来自绿被^[26], 这一转变使得地表景观及其下垫面性质发生了根本性的变化, 并因此诱发了严重的城市热岛效应。用 2006 年 TM 影像的热红外波段反演的地面温度和三维城市热岛模型^[12]制作的福州城市热岛三维特征图表明, 整个福州盆地在 2006 年已经沦为一个火红的热岛区(图 4)。因此, 福州在紧接的 2007 年成为三大“火炉”之首也就不足为奇了。图 4 下部为利用 IBI 指数增强的 2006 年福州盆地建筑用地分布图。图中代表高密度建筑用地的红色斑块与其上红色热岛的分布在空间位置上高度吻合, 揭示了以高储热性人工建筑物为主的下垫面对城市热岛的显著贡献。

4.2 城市用地的合理性问题

尽管福州市的市区人口在这 30 a 里以年均 2.7% 的速度快速增加, 但是福州建成区的扩展速度更快, 年均增加速度达到了 10.5%, 二者之比为 1:3.85(若以市区非农人口年均增长率来计算, 二者之比为 1:2.13)。中国城市规划设计院《2000 年城镇用地预测综合报告》指出: 城市人口年增率与城市用地年增率之间的合理比例不应大于 1:1.12, 这也是国际上公认较为合理的比例。显然, 福州的城市扩展速度大大超过了人口增长速度。因此, 在这 30 a 里, 福州城市建筑用地人口密度呈明显下降趋势, 从 2.78 万人/km² 下降到 1.47 万人/km², 降幅达 47.4% (表 1)。郑蔚等的研究表明, 福州建筑

① 福州市城市规划局. 福州市城市总体规划(1995 ~ 2010)——市区总体规划图. 1998.

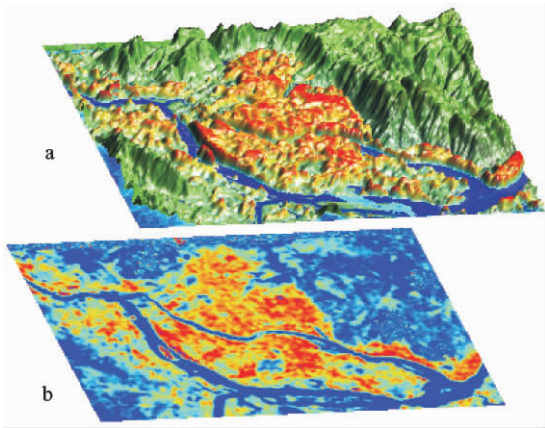


图4 福州市2006年三维城市热岛模型(a)及其建筑用地增强图(b)

Fig. 4 Digital urban heat-island model of Fuzhou Basin in 2006 (a) with enhanced built-up information image (b)

用地人口密度在1999~2005年的短短6 a下降了45%~48%，其下降幅度在全国31个省会城市中排第6位^[22]。可见，福州城市人口的大量增加，并没有增加建成区的人口密度，而是相反。叶琳、徐涵秋的研究表明，福州城市所增加的建筑用地中有45%来自宝贵的耕地资源^[26]，这应该引起决策部门的高度重视。城市扩展过快极易造成城市建筑用地总量失控、城市用地奢侈浪费和土地资源粗放利用，不利于城市的可持续发展。

5 结 论

福州盆地中心的福州城市建成区在1976~2006年间面积大幅增加了105 km²。在这30 a的城市扩展进程中，除了福州主城区的大扩展外，还形成了金山、快安等新城，使得整个城区从西到东几乎连为一片。总的看来，福州建成区的大面积扩展主要发生在1986年以后的20 a，城市扩展经历了先慢后快，先北、后东、西的扩展历程，整个城市的扩展模式以面状为主要特征。

经济、人口、政策和自然地理条件是福州城市空间扩展的主要驱动和影响因子。与国内许多城市不同的是，福州城市的空间扩展并不属于工业主导型，而是第三产业的发展所推动。第三产业的大发展说明福州城市自身已向更高的层次发展。

福州城市快速扩展的同时也带来了一定的环境与资源问题，如城市热岛效应与城市建筑用地总量控制问题，政府相关决策部门应对此予以足够的重视。

参考文献:

- [1] Sterling S, Ducharme A. Comprehensive data set of global land cover change for land surface model applications [J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2008, **22**(3), GB3017.
- [2] IPCC. Climate change 2007—the fourth assessment report (AR4) of the United Nations Intergovernmental Panel on Climate Change [R]. IPCC, 2007.
- [3] 新华网. 建国60年我国城市化水平提高5倍多 [N/OL]. <http://news.xinhuanet.com/fortune>. 2009-7-17.
- [4] 夏 毅, 李云梅, 王 桥, 等. 基于遥感的无锡市土地利用与过境水质响应关系的研究 [J]. *地理科学*, 2010, **30**(1): 129~133.
- [5] 金贤锋, 董锁成, 周长进, 等. 中国城市的生态环境问题 [J]. *城市问题*, 2009, (9): 5~10, 23.
- [6] 王 琳, 徐涵秋, 李 胜. 福州城市扩展的遥感动态监测 [J]. *地球信息科学*, 2006, **8**(4): 129~135.
- [7] 张春桂. 用MODIS植被指数研究福州城区空间扩展变化 [J]. *气象*, 2006, (10): 578~583.
- [8] 兰思仁, 唐思晟, 张晓萍, 等. 基于遥感数据的福州景观格局与城市森林体系 [J]. *中国城市林业*, 2009, (1): 77~81.
- [9] 王文奎. 基于高精度斑块数据的福州市绿地景观格局研究 [J]. *福建建筑*, 2007, (6): 23~25.
- [10] 黄荣峰, 徐涵秋. 利用Landsat ETM+影像研究土地利用/覆盖与城市热环境的关系——以福州市为例 [J]. *遥感信息*, 2005, (5): 36~39.
- [11] 徐涵秋. 城市不透水面与相关城市生态要素关系的定量分析 [J]. *生态学报*, 2009, **29**(5): 2456~2462.
- [12] 徐涵秋. 福州市三维城市热岛分布 [C] // 王超. 遥感见证——中国遥感卫星地面站建立20年卫星影像图集. 北京: 科学出版社, 2006: 298.
- [13] Chander G, Markham B. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2003, **41**(11): 2674~2677.
- [14] Chavez P S Jr. Image-based atmospheric corrections—Revisited and revisited [J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1996, **62**(9): 1025~1036.
- [15] Zha Y, Gao J, Ni S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2003, **24**(3): 583~594.
- [16] 徐涵秋. 基于压缩数据维的城市建筑用地遥感信息提取 [J]. *中国图象图形学报*, 2005, **10**(2): 223~229.
- [17] Xu Hanqiu. A new index for delineating built-up land features in satellite imagery [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2008, **29**(14): 4269~4276.
- [18] Huete A R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI) [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1988, **25**(3): 295~309.
- [19] 徐涵秋. 利用改进的归一化差异水体指数(MNDWI)提取水

- 体信息的研究[J]. 遥感学报, 2005, 9(5): 589~595.
- [20] Xu Hanqiu. Extraction of urban built-up land features from Landsat imagery using a thematic-oriented index combination technique [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2007, 73(12): 1381-1392.
- [21] 何春阳, 史培军, 陈晋, 等. 北京地区城市化过程与机制研究[J]. 地理学报, 2002, 57(3): 363~371.
- [22] 郑蔚, 梁进社, 张华. 中国省会城市紧凑程度综合评价[J]. 中国土地科学, 2009, 23(4): 11~17.
- [23] 福建省情地图集编纂委员会. 福建省情地图集[M]. 福州福建地区出版社, 2009.
- [24] 福州经济年鉴编辑委员会. 福州统计年鉴 1991 [M]. 北京: 中国统计出版社, 1991.
- [25] 福州市统计局. 福州统计年鉴 1997 [M]. 北京: 中国统计出版社, 1997.
- [26] 叶琳, 徐涵秋. 近 20 年来福州市土地利用时空变化的遥感分析[J]. 地球信息科学, 2008, 10(1): 80~87.

Urban Expansion Process in the Center of the Fuzhou Basin, Southeast China in 1976 – 2006

XU Han-Qiu

(College of Environment and Resources, Institute of Remote Sensing Information Engineering,
Fuzhou University, Fuzhou, Fujian 350108, China)

Abstract: Urban expansion in which non-urban land use converted to urban land use is an important aspect of urbanization. With the progress of urbanization, Fuzhou City, located in the center of the Fuzhou Basin, Southeast China, has witnessed a rapid urban expansion process. To reveal the dynamics of urban expansion, remote sensing technique was employed. The use of the index-based built-up index (IBI) and a supervised classification has extracted urban built-up land information of the city from multi-temporal Landsat MSS/TM images of 1976, 1986, 1996 and 2006. The results show that during the 30-year study period the urban built-up area of Fuzhou has increased from 33 km² in 1976 to 138 km² in 2006, a net increase of 105 km². Due to the formation of the new urban areas such as Jinshan in the west and Kuai'an in the southeast, and the fast growth of Mawei, the previously-dispersed urban areas of Fuzhou are almost connected with each other from west to east. The study also reveals that massive urban expansion took place mainly in the late 20 years after 1986. The urban growth has been slow in the first 10 years and fast in the late 20 years. The urban expanded to the north first, then to the east, and finally to the west, and was sprawled in a planar way rather than a linear way. Driving force analysis indicates that fast economic development, population increase, government decisions and terrain conditions are all factors contributing to the urban expansion of Fuzhou. Unlike many other rapid growing cities in the country, Fuzhou's urban expansion was mainly driven by the tertiary industry rather than the secondary industry based on the increase rate. The rapid urban growth of Fuzhou City has brought about environment and resources repercussions to the city. Among them, the most serious problem is the urban heat island phenomenon. The considerable increase in built-up land areas in the Fuzhou Basin has significantly altered the landscapes of the basin and the thermal environment of the city. As a result, the whole basin in 2006 was almost in a heat island state. This has caused a severe urban heat island effect for the city and therefore attention should be paid by the government decision makers.

Key words: urban expansion; information extraction of remotely sensed data; IBI; driving force; Fuzhou City