



生态城乡与绿色建筑研究丛书
国家自然科学基金重点项目
湖北省学术著作出版专项资金资助项目
李保峰 主编

Research on the Impact of Urban Morphology on
Urban Climate in the Built Up Zone

城市中心区气候影响研究

周雪帆 著



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>



生态城乡与绿色建筑研究丛书
国家自然科学基金重点项目
湖北省学术著作出版专项资金资助项目
李保峰 主编

Research on the Impact of Urban Morphology on
Urban Climate in the Built Up Zone

城市中心区气候影响研究

周雪帆 著



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国·武汉

图书在版编目(CIP)数据

城市中心区气候影响研究/周雪帆著. —武汉:华中科技大学出版社,2018.8
(生态城乡与绿色建筑研究丛书)
ISBN 978-7-5680-4164-5

I. ①城… II. ①周… III. ①市中心-城市气候-气候影响-研究 IV. ①P463.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 119869 号

城市中心区气候影响研究

周雪帆 著

Chengshi Zhongxinqu Qihou Yingxiang Yanjiu

策划编辑:易彩萍

责任编辑:易彩萍

封面设计:王 娜

责任校对:李 琴

责任监印:朱 玢

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉) 电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园 邮编:430223

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:武汉市金港彩印有限公司

开 本:710mm×1000mm 1/16

印 张:11.5

字 数:183千字

版 次:2018年8月第1版第1次印刷

定 价:128.00元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

本书得到以下 4 个基金项目支持：

(1) 城市形态与城市微气候耦合机理与控制(国家自然科学基金重点项目,项目批准号:51538004);

(2) 基于 WRF 的水网城市广义通风道微气候调节规划策略研究——以武汉为例(国家自然科学基金青年项目,项目批准号:51708237);

(3) 有利于空气污染物扩散的城市通风道控制性规划指标研究(中国博士后科学基金,项目批准号:2015M572144);

(4) 基于 WRF-Chem 的水网城市通风道规划策略研究(华中科技大学自主创新基金项目)。

作者简介 | About the Author

周雪帆

华中科技大学博士,日本东京大学交换留学博士,现为华中科技大学建筑与城市规划学院讲师,日本东京工艺大学短期合作研究员,主要从事中尺度城市气候、环境相关研究。曾获湖北省优秀博士、硕士论文奖。国家自然科学基金青年项目“基于 WRF 的水网城市广义通风道微气候调节规划策略研究——以武汉为例”项目负责人,中国博士后科学基金“有利于空气污染物扩散的城市通风道控制性规划指标研究”项目负责人,国家自然科学基金重点项目“城市形态与城市微气候耦合机理与控制”核心参与研究人员。

前 言

随着改革开放、经济发展,我国各大中城市均处于城市化发展过程中,截至 2011 年 12 月,我国城市化率突破 50%,中国城镇人口首次超过农村人口,中国城市化已进入关键发展阶段。城市化带来诸如城市用地面积紧张、建筑密集、下垫面人工化严重等问题,造成城市容积率、建筑密度的增长。伴随着城市化进程的加速,废热积聚、通风不力、人工热排放量倍增,这些问题在城市中心区内表现得尤为显著,导致中心区内平均气温升高,加剧了城市热岛现象。因此,基于城市气候保护的城市中心区发展研究,已经成为城市规划及城市环境、气候研究领域迫切需要解决的研究问题之一。

本书以长江中下游城市武汉为研究案例,针对城市中心区用地需求日益增加所带来的城市年平均气温逐年升高,城市热岛现象逐年增强这一现象展开讨论。以 2020 年武汉市总体规划为基础,从容积率、建筑密度、天然水体面积变化等 3 个与城市用地开发强度及空间发展模式相关的视角出发,利用计算机数值模拟技术,通过多种研究案例的情景分析,进行不同的城市开发强度与空间发展模式对城市中心区气候的影响程度的定量化分析,旨在探讨获得有利于城市气候的中心区开发强度控制策略与空间发展模式,并据此为城市规划设计及决策者提供数据参考与决策依据。

本书主要包括以下三个方面的内容。首先,在实测验证模型精确度的基础上,创新性地采用了耦合城市冠层模型 UCM(urban canopy model)的中尺度气象模拟模型 WRF(weather research and forecasting model)作为研究方法及技术手段,以求更加精确地模拟城市冠层内建筑物与建筑物之间、建筑物与地面之间、建筑物与天空之间的多次长、短波反射等物理过程,以确保研究的准确性及精确度。其次,以城市中心区内容容积率、建筑密度、天然水体面积为自变量,设计了 3 组共 18 个基础研究案例,通过模拟计算,分析、比较个体案例间平均气温、风速、长波及短波辐射、显热、潜热、城市热岛



强度等,由此定量化地得到有利于城市气候的城市中心区开发强度控制策略。最后,在前述基础研究之上,有针对性地对城市中心区内高层化发展、高密度化发展、无天然水体等极端情况进行情景分析研究,并据此预测武汉市 2020 年及以后城市气候的变化趋势。

本书第一章介绍了城市主城区气候影响研究的背景、目标及意义,在此基础上,第二章介绍了相关研究的国内外研究现状,并引出第三章关于研究及验证方法、计算条件、研究范围、研究案例的设定的介绍,以此总结并引出第四、第五、第六章。第四、第五、第六章分别探讨了武汉市中心区内建筑密度、容积率、天然水体面积的变化对城市中心区气候、环境的影响。第七章探讨了城市中心区内高层化、高密度化、无天然水体等极端情况下城市空间发展的案例,并据此预测武汉市 2020 年后城市气候、环境的变化趋势。最后,第八章给出全书的总结及讨论。

目 录

第一章 绪论	(1)
第二章 城市气候温暖化相关研究概要	(7)
第一节 城市气候研究概要	(7)
第二节 城市温暖化	(13)
第三节 城市热岛现象	(15)
第三章 基于城市冠层模型的中尺度气象模拟方法	(24)
第一节 中尺度气象模型 WRF 概要	(24)
第二节 城市冠层模型概要	(28)
第三节 城市冠层模型的验证	(34)
第四节 城市用地条件的设定	(39)
第五节 案例设定介绍	(44)
第六节 武汉中心城区内采样分区介绍	(49)
第四章 建筑密度的差异对中心城区气候的影响	(51)
第一节 案例及边界条件设定	(51)
第二节 建筑密度的差异对中心城区热环境的影响	(52)
第三节 建筑密度的差异对中心城区风环境的影响	(62)
第四节 建筑密度的差异对中心城区热岛效应的影响	(68)
第五节 讨论与小结	(81)
第五章 容积率的差异对中心城区气候的影响	(82)
第一节 案例及边界条件设定	(82)
第二节 容积率的差异对中心城区热环境的影响	(83)
第三节 容积率的差异对中心城区风环境的影响	(85)
第四节 容积率的差异对中心城区热岛效应的影响	(91)
第五节 讨论与小结	(103)



第六章 中心城区水体面积变化对城市气候的影响	(104)
第一节 武汉市中心城区水体面积变化概述	(104)
第二节 案例及边界条件设定	(105)
第三节 2008 年现状案例分析	(106)
第四节 水体变化对中心城区热环境的影响	(107)
第五节 水体变化对中心城区风环境的影响	(113)
第六节 水体变化对中心城区热岛强度的影响	(114)
第七节 讨论与小结	(118)
第七章 不同的城市发展模式对中心城区的影响	(119)
第一节 高层化及高密度化发展模式对武汉中心城区 气候的影响	(119)
第二节 水体消失极端情况下对武汉中心城区气候的影响	(149)
第八章 结语与展望	(161)
第一节 结语	(161)
第二节 未来的展望	(166)
参考文献	(167)

第一章 绪 论

随着改革开放、经济发展,我国各大中城市均有明显的城市化发展趋势,截至 2011 年 12 月,我国城镇人口占总人口比例突破 50%,标志着我国城市化率突破 50%。长江中下游城市武汉也不例外。1983 年 8 月 19 日,国务院批准将孝感地区的黄陂县、黄冈地区的新洲县划归武汉市。1984 年,设立武汉市汉南区。1992 年 9 月 12 日,民政部批准撤销汉阳县,设立武汉市蔡甸区,区人民政府驻蔡甸镇。1995 年 3 月 28 日,国务院批准撤销武昌县,设立武汉市江夏区,区人民政府驻纸坊镇。1996 年,全市面积为 8467.11 平方千米,人口为 700 万人。市政府驻江岸区,辖江岸、江汉、硚口、汉阳、武昌、青山、洪山、东西湖、汉南、蔡甸、江夏 11 区和黄陂、新洲 2 县。1998 年 9 月 15 日,国务院批准撤销新洲县,设立武汉市新洲区,以原新洲县的行政区域为新洲区的行政区域,区人民政府驻城关镇;撤销黄陂县,设立武汉市黄陂区,以原黄陂县的行政区域为黄陂区的行政区域,区人民政府驻前川镇。直到 2000 年初期,武汉市发展成为占地面积为 8494.41 平方千米的长江中下游地区大型城市。根据武汉市统计局信息,武汉市城市人口数量逐年也有明显的增长,详见图 1-1。

随着城市化的发展,武汉市人口逐年增长,并伴随着明显的城市容积率、建筑密度的变化。如图 1-2 显示了武汉市 2000 年至 2009 年竣工房屋建筑面积统计数据,不难发现在中心城区面积基本不变的情况下,建筑面积有明显增长,这带来了容积率、建筑密度的增加。由于中心城区发展较郊区更为成熟并自成系统,且因为受到行政区划的限制,不可能有较大规模的用地面积变化,注定了城区特别是城市中心区向高密度、高层化方向发展的发展模式。

另外,武汉市水域面积巨大,共有 2217.6 平方千米,覆盖率为 26.10%,因此武汉市有“百湖之市”的美名。然而,由于经济建设及人口增长带来的

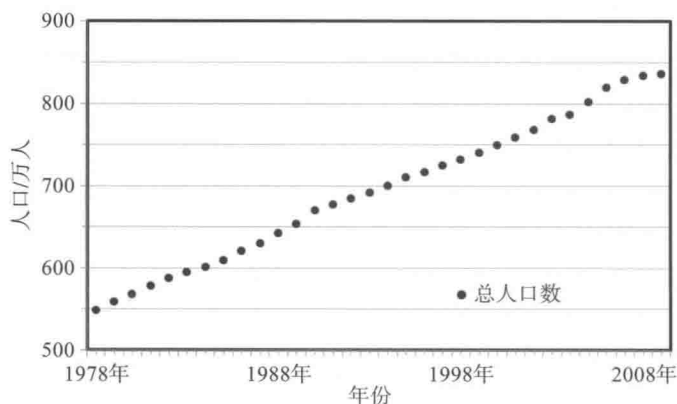


图 1-1 武汉市 1978 年至 2008 年人口逐年统计数据

(武汉市统计局提供)

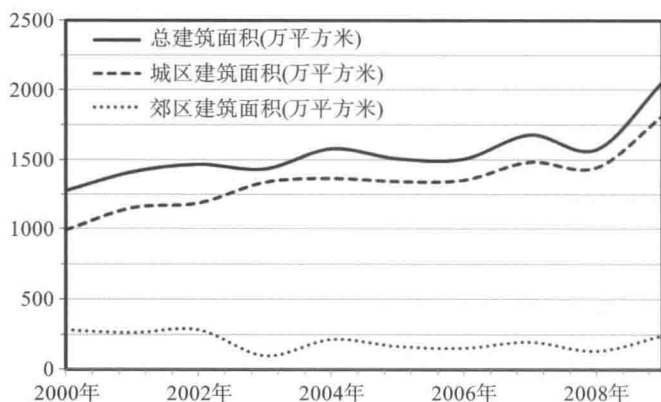


图 1-2 武汉市 2000 年至 2009 年竣工房屋建筑面积统计数据

(武汉市统计局提供)

用地需求增加,历史上武汉市有几次显著的填湖改造。根据武汉市规划局提供的一份资料显示,1965年至2008年是武汉中心城区内水体面积消失最明显的43年。1965年,武汉中心城区内水体面积为518.25平方千米,至2008年,此数据下降到387.75平方千米。除了容积率、建筑密度的增加,下垫面属性的改变,即水体面积的减少也是武汉市城市化进程最明显的表现之一。



城市化带来诸如用地面积紧张、人工热排放量增加的问题,而这些问题将一定程度地影响城市热环境及环境的舒适性。在大力发展城市经济基础设施建设的同时,又不忽视对城市环境的保护,是现在我国各大中型城市建设者共同关注的重要课题。

城市容积率、建筑密度持续增长,造成人工热排放量不断升高,这一现象在城市中心城区内尤为明显。由于建筑物数量及密度的增加,城市皱折度增大,城市表面积增长,更多的太阳光短波辐射被城市表面吸收,建筑物之间、建筑物与地面之间、建筑物与天空之间的多次长波及短波反射加剧,造成城市内特别是中心城区白天得热量及蓄热量的增加,在夜晚,由于建筑物的阻碍降低了城市内通风散热量,形成多余热量的积累,城市内特别是中心城区气温升高,进而导致城市热环境及热舒适性的恶化、城市热岛现象日趋严重。

城市内自然水体面积的减少也可能带来城市气候的改变,特别是在天气炎热的夏季,水体面积的减少必然带来城市内湿度的改变。下垫面属性的变化更是带来诸如入射、反射率及吸收率的改变,这些改变都将对城市内能量得失平衡造成影响,因此造成武汉市城市气候的改变。

通过分析整理武汉市近几十年的气象数据,可以发现城市气候的确发生了不容忽视的改变。武汉市地处亚热带,冬季受西伯利亚冬季风的影响,寒冷潮湿;夏季受热带海洋季风的影响,日光辐射强烈、持续高温多雨;春秋两季则为冬夏季风交替的时期,雨量充沛且季节性降雨相对集中。总体表现出夏季湿热、冬季阴冷的气候特征。夏季极端最高气温高达 40°C 以上;冬季湿冷的情况也比较严重,1 月份气温比同纬度其他地区一般要低 $8\sim 10^{\circ}\text{C}$ 。武汉市属内陆型亚热带湿润季风气候,城市气候效应显著,素有“火炉”之称。图 1-3 中给出了武汉市 1951 年至 2009 年年平均、平均最低、平均最高气温值。从图中不难发现武汉市年平均、平均最低及平均最高气温存在 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ 的增幅。该组数据说明随着城市化的发展,城市热环境有明显的改变。

随着城市化的发展,城市气候问题受到各个国家、阶层、领域的关注。这是因为城市热环境影响着城市居民的热舒适性,且全球气候变暖正威胁

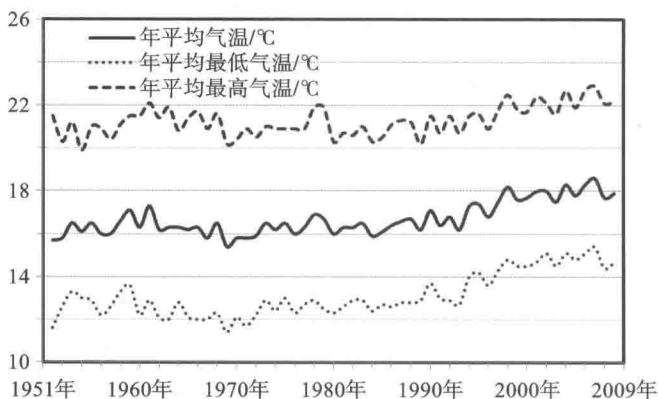


图 1-3 武汉市 1951 年至 2009 年年平均、平均最低、平均最高气温
(武汉市气象局提供)

着整个人类的发展。城市热岛现象的日趋严重,局部性暴雨、干旱、持续高温等极端天气频发都提醒着我们,保护并改善城市气候刻不容缓。近年来,已经有越来越多的研究团队从各个方面入手,试图提出可行的环境保护及改善措施。以计算机数值模拟技术为基础的研究手法是现今先进、高效的研究模式。将计算机数值模拟技术引入城市气候研究,可以达到对城市气候问题定量化评估的目的。利用计算机数值模拟技术不仅能对现有的城市气候问题进行准确评估,发现主要矛盾,还可以预测中心城区气候的变化趋势,定量化地评价改善方案的可行性及改善效率。从城市规划角度出发,利用基于 WRF 的城市冠层模型,针对城市中心城区环境因素(容积率、建筑密度及城市内水体面积的减少)对气候因素的影响进行研究,这一研究结果将为城市规划策略的提出提供参考数据,并作为定量化的参考资料为城市规划提供技术支持。

本书以长江中下游城市武汉为研究案例,针对武汉市中心城区用地需求日益增加这一现状,结合武汉市年平均气温逐年升高,城市热岛现象逐年增强这一事实展开讨论。以 2020 年武汉市总体规划为基础,从容积率、建筑密度、大型水体面积变化等 3 个与城市用地开发强度及发展模式相关的视角出发,探讨不同的城市开发强度与发展模式下城市中心区气候的变化趋势。本书旨在通过计算机数值模拟技术,研究提高城市中心区用地效率的



开发强度控制指标与城市中心区气候变化趋势之间的关系,试图通过归纳总结得到使城市热环境及环境热舒适性友好型的方式,满足城市中心城区用地需求发展的城市布局、规划策略,为城市规划提供科学依据与决策支持。

另外,本书还对武汉近几十年存在的填湖问题所可能带来的城市气候影响进行了模拟研究,通过模拟 1965 年至 2008 年武汉市内中心城区水体情况的改变,分析研究水体面积变化对武汉市气候环境的影响。

本书利用基于中尺度气象模型 WRF 的城市冠层模型,以武汉中心城区气候为研究对象,并根据武汉市 2006 年至 2020 年城市总体规划,通过对城市中心城区容积率、建筑密度、城市中心区内水体面积变化的研究,设置了 3 类共 18 组案例,计算并分析比较各组案例条件下中心城区的平均及局部气温、相对湿度、风速、长短波辐射量、显热及潜热得失量、城市热岛强度值,全面、系统化地评价武汉中心城区由于环境因素的改变所引起的气候变化。本书试图定量化地归纳得到城市环境因素(容积率、建筑密度及城市中心区内水体的面积变化)对气候因素(气温、风速、湿度、长波、短波辐射量、显热及潜热收支)的影响强弱程度,最后通过对现有数据的处理分析,结合模拟技术预测武汉市未来几十年由于城市发展可能导致的城市气候变化,以此方式对基于城市环境气候舒适性的城市规划设计提供数据依据及技术支持。

进入 20 世纪 80 年代以来,热岛效应的加剧导致城市日趋炎热。一方面,主城区的高密度建设强化了城市下垫面蓄热程度;另一方面,城市连绵蔓延使城市热岛范围逐渐扩大。目前,汉口有四个强热岛中心:一是从武胜路到三阳路的区域,基本分布在人口稠密区;二是堤角工业区,从黄浦路沿工农兵路到新村街;三是从新华路到建设大道一带,呈椭圆形区域;四是易家墩工业区。青山区有两个热岛中心,一是武钢厂区,二是武钢生活区。武昌的热岛中心主要位于武昌老城区。根据《武汉城市中心区至边缘区夏季热环境实测与温度变化研究》中 2011 年 8 月 13 日及 8 月 15 日两天的实测数据显示,武汉市区早、中、晚都存在明显的热岛现象。清晨温差较小,在 $1\sim 2\text{ }^{\circ}\text{C}$;中午,由于城市中心区与市郊下垫面的蓄热和散热性能不同,以及



人为因素,使得温差有些许增加,在 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$;晚上,由于土壤、植被的散热性好,城市中心的热岛现象表现得最为明显,温差达到了 4°C ,且时间越晚,现象越明显。

武汉市近几十年的升温同城市建筑的高密度、高容积率化的发展模式以及城市下垫面水体面积的减少是否存在直接关系?这些因素对城市气候变暖及环境改变各具有多大的影响?对于这些疑问的解答有助于引导城市向提高城市环境舒适性的方向发展。因此,以城市发展中存在的区域热环境为导向的城市中心区发展对区域气候影响研究,已经成为城市规划和其他相关领域迫切需要研究的课题。

本书拟通过计算机数值模拟技术,研究提高城市中心区用地效率的开发强度控制指标与城市中心区气候变化趋势之间的关系,试图通过归纳总结得到使城市热环境及环境热舒适性友好型的方式,满足城市中心城区用地需求发展的城市布局、规划策略,为城市规划提供科学依据与决策支持。

第二章 城市气候温暖化相关研究概要

本书以城市化进程下不同发展模式(高密度化/高层化)对城市气候的影响作为核心研究对象,以近几年广受热议的城市温暖化及城市热岛现象为讨论对象。本章将介绍国内外与城市气候相关的研究,明确城市气候的主要研究对象及目前为止的各类研究方法,并展开介绍城市温暖化及城市热岛现象这两个主要议题。本章还总结归纳了城市温暖化及城市热岛现象的成因、缓解策略等。

第一节 城市气候研究概要

一、城市气候研究的对象及特点

当前的城市气候是在区域气候的背景上,经过城市化后,在城市的特殊下垫面和城市人类活动的影响下(主要是无意识的)而形成的一种局地气候。

城市化地区具有三个特点:①非农业人口高密度聚居;②高强度经济活动区;③特殊性质下垫面。其中,高密度人口及高强度经济活动会带来大量的能源消耗,有害气体和颗粒状污染物排放等问题。当污染物排放量超过空气的自净能力时,就会造成城市大气污染,并由于提供给大气大量的供云、雾、雨水形成的凝结核,改变城市空气的透明度及能见度,从而改变城市辐射的热量,特别是温室气体的排放致使城市温室效应比郊区明显许多。大量的能源消耗将带来大量的“废热”排放,造成城市比郊区增加了许多额外热量。另外,《城市气候学》一书中还指出化石燃料燃烧过程中还有“人为水汽”的排放,这些又使得城市的能量平衡和水分平衡与郊区不同。而对于城市气候影响最大的还应属其特殊性质的下垫面。城市用地就其功能与性



质可分成工业用地、商业用地、生活居住用地、对外交通用地、仓库用地、学校用地、园林绿化用地、公共建筑用地、特殊用地、公共事业用地、水面及其他用地(如墓地、垃圾场)等。而根据用地属性的不同,下垫面的性质也不尽相同。下垫面之所以能在很大程度上影响城市局地气候,主要缘于它与空气之间存在着复杂的物质交换和能量交换,并且作为影响下层空气运动的变截面。

将城市下垫面和自然下垫面进行比较。由于高低错落的建筑群的存在,城市下垫面更为立体,材质也多为砖、沥青及水泥等人工材料,这些属性将很大程度上改变下垫面对太阳辐射的反射率及地面长波净辐射率,另外其导热率、热容量、热导强度都比自然下垫面大,蓄热能力也较强。然而因为城市下垫面植被面积相对较小,多为不透水材质,水分的储蓄量比自然下垫面低,从而导致蒸发量较小。因此,城市区域能量平衡和水分平衡与自然下垫面覆盖区会有较为明显的差别。由此可见,城市下垫面的改变对空气的温度、湿度、风速、风向等都会产生较大的影响,致使城市局地气候不同于郊区及自然下垫面覆盖区域。因而对于城市气候的研究也有别于一般性气候研究。图 2-1 直观化地给出城市化对城市能量平衡和水分平衡的影响。

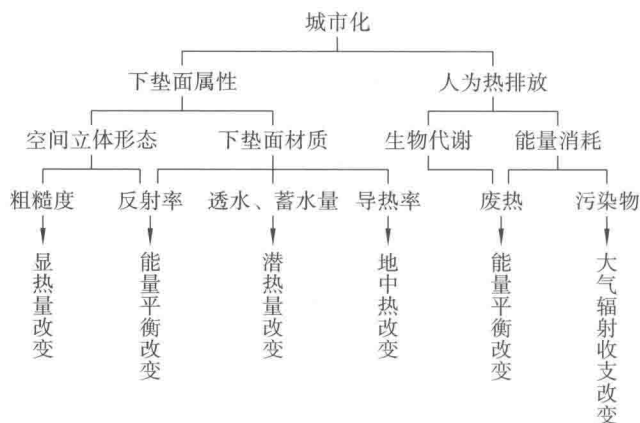


图 2-1 城市化对城市能量平衡和水分平衡的影响(自绘)

《空气污染——物理和化学基础》一书中引用了 Oke 的意见,对这种局地气候所涉及的范围进行界定。如图 2-2 所示,城市范围包括城市边界层