

我国城市低碳化发展的路径选择： 重庆个案

陈建伟

内容提要：在“田园城市”、“邻里中心”等国外优秀规划理念的启发下，结合我国传统小城镇建设的经验提出了蜂窝理念，力图通过功能混合促进职住平衡、完善公共服务设施服务等手段从根本上减少城市居民工作、生活的长距离出行需求，同时优化综合交通体系增加绿色出行的比例，从而实现从规划角度促进城市低碳发展。以重庆市两江新区蔡家项目为例进行相关规划研究，通过对居民日常交通出行碳排放的模拟，发现应用蜂窝理念改造后的城市能实现减排 68% 左右，减排效果非常显著，且具有明显的优越性和适用性。

关键词：蜂窝理念 低碳城市 重庆发展

作者单位：重庆市城市建设投资（集团）有限公司 重庆 400015

20 世纪末，大量温室气体排放导致全球气候变暖，进而对全球生态系统造成严重破坏甚至威胁人类生存的事实逐渐被全世界所认知。为缓解全球气候变暖，2003 年英国的能源白皮书《我们能源的未来：创建低碳经济》正式提出了“低碳”概念，此后，低碳化发展在 2007 年举行的《联合国气候变化框架公约》（以下简称《公约》）的路线图中被进一步肯定，得到全世界的共同认可，《公约》要求各国共同努力，减少温室气体排放，确保粮食生产和经济可持续发展。

一、我国低碳化发展的背景

改革开放以来，我国城镇化快速推进。1978 年，我国的城镇化率仅为 17.92%；到 2014 年，我国的城镇化率已达到 54.77%。虽然快速城镇化推动了我国经济的高速发展，但同时也带来了诸多问题，如交通拥堵、环境恶化、大拆大建、“睡城”、“死城”等，直接导致了我国城市发展的高碳模式。中国工程院院士陆佑相在“2013 能源峰会暨第五届中国能源企业高层论坛”上指出：“我国单位 GDP 能耗是世界平均水平的 2.5 倍，是美国的 3.3 倍，是日本的 7 倍，同时高于巴西、墨西哥等发展中国家。”在新的形势下，高碳的发展模式已不可持续，必须转变发展方式。

党的十八大明确提出要大力推进生态文明建设。习近平总书记在中央城市工作会议上进一步指出，城市发展要“贯彻创新、协调、绿色、开放、共享的发展理念”，“推动形成绿色低碳的生产生活方式和城市建设运营模式”，“要按照绿色循环低碳的理念进行规划建设”。2015 年 11 月，习近平总书记出席联合国气候变化大会，商讨全球减排新协议，这也是我国最高领导人首次出席联合国气候变化大会，凸显了党中央对低碳减排工作的重视。我国在近期出台的《国家新型城镇化规划（2014-2020 年）》中，也明确将“生态文明，绿色低碳”作为新型城镇化过程中必须坚持的基本原则。因此，低碳发展已成为我国城镇化发展的般高纲领之一。

根据 FCC 第五次评估报告，2000-2010 年，人为温室气体排放量增加了 100 亿吨二氧化碳当量，其中 11% 来自能源生产、25% 来自农林等土地利用部门、32% 来自工业部门、18% 来自于建筑部门、14% 来自交通部门，以上各项除农林等土地利用部门外均发生在城市，也就是说，面积占世界 2% 的城市排放了全世界 75% 的二氧化碳，因此低碳发展的核心在于城市的建设、运营的低碳化，正如世界观察研究所出版的《地球白皮书 2007-2008：城市的未来》指出，只有城市才是导致和解决气候变化的“钥匙”。

仅仅通过节能减排的技术手段尚不足以解决二氧化碳减排问题。由于城市规划对于城市发展有长期的、结构性、不可逆的影响作用，因而只有通过合理的城市规划，确定适宜的城市土地利用模式，构建绿色交通体系，引导城市产业结构调整，促进循环经济的发展，引导居民生活方式的转变，才可能从源头上、整体控制与减少碳排放量。

二、国内外城市低碳规划实践及研究进展

自低碳概念被 2003 年提出以来，一些国家和城市积极行动，在城市低碳发展上进行了积极的探索。

（一）城市低碳发展实践案例解析

1. 哥本哈根模式：零排放城市

丹麦的哥本哈根是低碳城市建设的先驱和典范，曾被联合国人居署选为“最适合居住城市”，并给予“最佳设计城市”的评价。2009 年，举世瞩目的世界气候大会在此召开。哥本哈根以每年减少 50 万吨二氧化碳排放为目标，提出零排放城市建设计划，计划打造世界上第一个碳中性城市。在过去 10 年中，以风能和生物质能为主的电力生产已减少哥本哈根 20% 的碳排放；而在未来的零碳城市建设中，75% 的减排任务仍要通过开发新能源和提高能源效率来完成；同时，以自行车为主、公共交通为辅和少量私家小汽车为补充的绿色交通体系以及建筑节能计划也各自承担着 10% 的减排任务。“哥本哈根模式”将节能和零碳排放作为城市未来发展方向，通过能源改造、绿色交通和建筑、市民减排行动、城市合理规划等一系列行动方案，最终实现城市的低能耗和零碳排放。

2. 东京模式：全面建设低碳社会

作为《京都议定书》的发起和倡导者，日本东京于 2007 年 6 月发表了《东京气候变化战略—低碳东京十年计划基本政策》，旨在实现 2020 年比 2000 年减少 25% 温室气体排放目标。根据该规划，东京的碳减排计划涉及企业部门、家庭、城市交通和建筑、城市规划等各个层面，并最终构建一个全面的低碳社会体系。因此，“东京模式”也被定义为“综合低碳社会模式”，其特点是将低碳理念落实到城市建设和发展的各个领域，包括新能源的开发利用、绿色建筑、公共交通、低碳消费等，强调全方位、多角度的提升城市功能。该模式的最终实现需要具备较大的人口规模和良好的经济基础，实施难度较大。

3. 上海模式：减排技术与碳汇

上海市以世博会园区的低碳建筑项目为契机，借助“低碳世博”的理念推进城市绿色出行活动，实施各类“碳补偿”项目并倡导低碳生活。同时，上海市还将重点建设崇明岛东滩生态城和临港新城两个项目，其中将东滩生态城定位为以“低生态足迹”规划理念指导下的“生态新城镇”。主要建设内容包括划定生态功能区、发展绿色交通、充分利用可再生能源、注重城市形态和生态功能结合以及建筑环保节能技术应用等方面。临港新城则将建设重点放在构建低碳社区及低碳产业园区等局部区域，大力推进低碳技术应用。

综上所述，国内外城市低碳发展的经验包括集中在合理城市规划、促进新能源的开发利用、绿色建筑、提倡公共交通、提倡低碳消费等方面。

（二）低碳城市规划研究进展

袁贺等将低碳城市规划分为技术层面和空间层面两部分，技术层面主要包括建筑节能、低碳产业等，独立于城市规划之外，城市规划只是提供应用的容器和载体，在城市规划中往往以指标体系

的方式来提出要求，如新能源普及率、绿色建筑比例、万元 GDP 能耗等；空间层面则主要包括紧凑城市、综合交通模式和城市碳汇系统等方面，通过合理的城市规划，实现城市建设和运行过程的低碳化。

在城市规划的空间层面，已有研究表明城市发展规模、城市空间结构、综合交通、碳汇系统对城市碳排放有显著影响。城市的规模与居民生活的碳排放量存在一定的正相关关系。随着城市规模的增大（实证中采用城市人口数 $\times$ 来表征城市规模），新增人口的人均碳排放量要高于存量人口，这说明城市增长会导致更高的碳排放水平²¹。城市空间形态影响了城市的能源消费模式，城市空间结构和街区结构、大小、密

度，以及土地利用模式、交通模式等均影响了城市的碳足迹，并通过对巴西首都 Brasilia 和东南部的 Curitiba 两个城市燃料消耗量的对比研究，验证了低密度开发的 Brasilia 相较于适度密度开发的 Curitiba，在城市运行过程中消耗了更多的能量¹³¹；同时日本学者 Sachihiko Harashina (2009) 通过对比东京大都市区与纽约都市区的城市空间结构，认为低碳的城市结构应是多核心的；在综合交通上，潘海啸、汤锡等认为低碳城市目标下的城市综合交通应坚持步行导向发展>自行车导向发展>公共交通导向发展>形象导向发展>小汽车导向发展。

虽然关于低碳城市规划的研究取得了较多的成绩，但对于指导城市规划实践促进城市低碳化发展仍有一些不足：第一，目前将城市规划与低碳交通结合起来的研究还较少。如 Ewing 等（2008）搭建的城市空间形态与碳排放关系的系统性研究框架中，就没有纳入交通要素。第二，当前的研究多是从紧凑性、开发密度、城市交通等方面开展单要素的城市低碳化发展研究。如何将这些要素进行综合量化和评价，并将其应用于具体的城市规划中，研究成果还比较少。第三，现有的量化实证研究中多以国外案例为主，对于我国城市的实证量化研究还较鲜见。我国的快速城镇化进程和独特的自然地理环境，决定我国不应盲目照搬国外经验，而应探索适合自身特点的低碳化发展道路。

三、蜂窝理念的内涵

（一）理念缘起

1. 职住平衡理念

19 世纪末霍华德在《明日的田园城市》一书中提出田园城市的理念，先驱性地提出通勤距离过长是城市生活的一种劣势，并率先提出新区在规划建设之初就应注重职住平衡的观点。他认为，城市不能无限蔓延，达到一定程度后应在它附近发展新的城市来容纳人口和产业的生长。新城内部要配备齐全的服务设施，就业和居住均衡分布，使居民的“工作就在住宅的步行距离之内”。1910 该理念提出后，得到众多城市规划师的认可和积极响应，并在之后不断发展完善。20 世纪中期，芬兰著名建筑师伊利尔·沙里宁提出了城市发展的“有机疏散理论”，并在 1943 年发表的《城市：它的发展、衰败和未来》一书中进行了详尽的阐述，同时探讨了疏散过程中居住与就业的组织方式，为缓解城市过分集中等弊病，应对城市中人们活动的分布与相互关联进行规划，使得活动需要的交通量减到最小程度。叫所城市主义倡导将现代生活的各个部分重新组成一个整体，即居住、工作、商业和娱乐设施结为一体，成为一种紧凑的、适宜步行、混合使用的新型社区。以上这些规划理念尽管提法各异，但都充分体现了通过规划调整来实现“职住平衡”的思想。

2. 邻里理念

20 世纪 30 年代，美国社会学家佩里创建了“邻里单元”理论。他认为，汽车数量的高速增长给居民的居住环境造成了严重的影响，应该限制居住区内部的机动交通，来保障居民出行的安全和生活的安宁，同时居住区内部必须配备完整的生活服务设施，提高居民的生活质量和密切邻里交往。

网

3. 我国传统小城镇建设经验

我国的城市发展历程也凸显了空间尺度与布局对生活方式的重要影响。改革开放前后的县城及小城镇，建设规模不大，一般在 1 --2 平方公里左右，居住人口 3 万— 5 万人，此时的生活方式中，上班、上学、休闲娱乐、购物等均采用步行的方式，生活非常便利，邻里之间关系也非常和睦，表明这个规模尺度可以成为一个较为完善的城市单元；同时期另一种建设模式也值得借鉴，学校、商店、娱乐、休闲等设施均围绕大型工业企业布局，形成以就业岗位为中心的空间布局，凸显就业岗位与其他功能邻近布局的重要性。

这里以此为基础，结合 30 年新城建设经验，提炼形成蜂窝理念，紧紧围绕城市发展规模、城市空间结构、综合交通体系等核心要素，提炼出一系列包含基本概念、规划目标、核心理念、规划准则等内容的空间规划技术体系，对通过城市规划实现低碳发展作出了一定的探索。

（二）基本概念

蜂窝理念涉及以下两个基本概念：

一是蜂窝单元，与“蜂窝”类似，是城市内部功能相对完整、可复制、可组合的最小功能单元。

二是蜂窝城市，以蜂窝单元为基本组成单位构成的城市功能组团，其规模尺度类似于城市空间中的组团。蜂窝城市的规模不宜过大，两个蜂窝城市之间可以设置组团隔离带等防止粘连。

（三）规划目标：低破宜居新城

主要目标是通过合理设置蜂窝单元内各种功能的规模配比和空间布局，从源头上降低居民的长距离出行需求，并通过绿色交通（步行+非机动车）的交通组织模式以及碳汇等手段，降低城市的碳排放，提高市民生活品质，提高居民的身体素质，建设低碳宜居新城。

（四）核心理念：优化城市功能和空间布局

在规划思路确立过程中，针对目前城市特别是新区建设过程中出现的问题，确立了五个核心理念。

一是完整性。与传统城市规划强调功能分区不同，蜂窝城市强调功能的充分混合，每个蜂窝都包含产业、商业、医疗卫生、休闲娱乐、教育等功能，使每个蜂窝单元均为功能相对完善的独立整体。

二是层次性。现阶段部分城市规划中存在公共服务设施配置层次性不够的问题，要么大部分公共服务设施集中在单个中心或者没有中心全部均摊到各个区域，这会导致交通拥堵或者居民部分公共服务需求无法得到满足的问题。因此，蜂窝理念要求规划与居民的分层次的公共服务需求相适应，力图在蜂窝城市内部形成多层次的公共服务设施体系。不同等级的公共服务中心具有不同的服务半径，为居民提供不同类型、不同等级的生产生活服务功能。通过完备的城市公共服务体系，降低长距离交通出行需求，增加绿色出行比例，尤其凸显以步行为主的出行方式，实现低碳社区的规划目标、

三是协调性。蜂窝城市在规划和建设过程中，与周边及总体规划是充分协调、无缝衔接的。蜂窝保持总体规划中与外部联系的主要通道和主要交叉口不变，因此不会对周边地区的建设带来不利影响。保持总体规划给定的公共服务设施规模不变，保证城市服务水平。保持总体规划确定的商住规模不变，确保市民的各种需求都能得到满足。因此通过“三个不变”，较好地协调了蜂窝和总体规划的关系，实现了无缝衔接。

四是开放性。针对城市中部分大型、封闭的

街区阻碍城市交通、影响城市服务功能的问题，蜂窝理念强调蜂窝城市的开放性，包括功能开放性和交通开放性。功能开放性是指每个蜂窝单元充分利用街道空间，形成较为完善的功能体系，对外提供城市公共服务；交通开放性是指蜂窝单元街区尺度较小，最小的街区宽度仅为 250 米，能够起到“疏通毛细血管”的作用。

五是有序性。吸取部分新区和新城出现的

“死城”现象的教训，在蜂窝单元进行开发的过程中，坚持公共服务设施先行的原则，在有市场反应的时候由市场类主体来修建，没有市场反应的时候，由一级开发主体单位先行建设，完善配套设施，通过成熟的公共服务配套设施吸引居民入住。在不同蜂窝单位之间，则在城市总体规划指导下，科学划分蜂窝单元，成熟一批，开发一批，这种滚动开发模式既能保证政府建设资金和资源利用的集约节约，避免高额政府债务，又能有效控制城市开发节奏，积极调控区域房地产市场，最终实现城市建设科学健康发展。

（五）规划准则

在具体规划实施过程中，主要遵循以下七项工作准则：

一是合理确定规模。为保证公共服务设施的步行可达性，一般要求蜂窝单元的规模不超过 1 平方公里，基础公共服务设施的服务半径为 600 米左右，步行时间 7 分钟左右，老年人的步行时间 10 分钟左右。整个蜂窝城市控制在 10 平方公里以内，公共服务设施的最大服务半径不超过 2.5 公里。蜂窝城市的规模与城市组团的规模一直，一般在 15-25 平方公里。

二是发展多级公共服务中心。公共服务设施的服务内容与其服务的人口密切相关，因此为更加方便地提供城市服务，在蜂窝城市内部至少形成三级公共服务中心即蜂窝单元级服务次中心、蜂窝单元级服务中心和蜂窝城市级服务中心（见表 1）。将蜂窝城市总体公共服务设施用地规模中的 10%-15% 用来建设蜂窝城市级服务中心，剩下的 85%-90% 的规模按照蜂窝单元的面积和性质分配到各蜂窝单元，形成蜂窝单元级服务中心和服务次中心。在蜂窝单元内部，首先形成社区级的公共服务设施中心即蜂窝单元公共服务次中心，包含基本的公共服务，如日料中心、社区食堂和小卖部等，服务半径最小，不超过 300 米；其次形成蜂窝单元级中、心，包括商业、医疗、教育等配套设施，为蜂窝单元内部的居民服务，服务半径不超过 600 米。在多个蜂窝单元之间，形成组团级公共服务设施中心，为所服务的多个蜂窝单元提供更高层次的基本公共服务，服务半径为 2.5 至 3 千米左右。蜂窝单元级服务中心是服务本蜂窝单元内居民的日常生活，如教育、医疗、消费、娱乐、休闲等，使用频率高，出行距离最短；蜂窝城市级服务中心则需要负责若干个蜂窝单元的居民，因此其公共服务设施的等级要高于蜂窝单元级服务中心，对居民来讲使用频率相对低，出行距离稍长。

三是职居步行 30 分钟内（职住平衡）。在每个蜂窝单元内，根据本区的居住人口、就业人口和产业类型，设置一定的工作岗位，重点发展商务办公、科技研发等现代服务业和对环境没有污染的楼宇工业，通过产业、居住的小尺度功能混合，促进职住平衡；同时在蜂窝城市内部，根据需要可以设置专门的产业单元，以发展低碳产业为主，促进蜂窝城市内的职住平衡。通过以上生产空间与生活空间的平衡布局，将人们的生产生活出行距离尽可能地限制在 2.5-3 公里（步行 30 分钟）以内，降低长距离出行需求。

四是构建 15 分钟生活圈。根据城市社区等级，确定其公共服务设施的规模和覆盖范围，匹配相适应的商业、休闲、娱乐、医疗、教育等服务业设施，实现公共服务设施空间与居住空间的平衡布局。在蜂窝社区内部，尽量使人们日常购物活动的出行范围限制在 1.2 公里（步行 15 分钟）以内，倡导尽量以步行为主的交通方式。

五是构建低碳交通体系。根据蜂窝城市社区等级和出行需求，构建三级化交通网络等级体系，配置相应的交通基础设施。蜂窝社区内部倡导零碳排放出行，即步行+非机动车；蜂窝社区间倡导

低碳排放出行，即以步行+非机动车为主，匹配适当规模的公共交通；蜂窝城市外部倡导尽量减少出行需求，匹配轨道交通+快速公交+组合乘车等绿色出行方式。

六是合理布局城市绿地。充分利用配建的城市公共绿地，提取 10%-15%的城市绿地用于建设规模相对较大的城市公园；其余的城市绿地布局时应注重以下两个原则：与公共服务设施紧密结合；相对分散。将绿地结合商业、医院、体育、学校等公共服务设施，可以进一步促进蜂窝单元级中心的形成。相对分散的布局则旨在在进一步提高绿地的可达性，提高绿地的使用效率。

七是构建网络化碳汇资源。充分利用项目的山水资源，通过梳理并保留山体、水系形成区内的重要碳汇资源，同时通过设施带状的绿色走廊，将碳汇资源连成网络，一方面为居民休闲娱乐提供载体，另一方面提供碳汇资源，进一步降低区域的碳排放水平。

表 1 蜂窝理念多级公共服务中心具体内容			
名称	特征	服务半径	设施
蜂窝单元级次中心	提供最基础的生活服务	<300 米	日间照料中心、食堂、小卖部、公园、休闲设施
蜂窝单元级中心	提供日常生活服务和就业岗位	<600 米	社区医院、公交站、农贸市场、学校、产业
蜂窝城市级中心	提供较高等级的生活服务和就业岗位	2500~3000 米	大型医院、文化活动中心、商场、商务区等

四、蜂窝理念应用及减排效果模拟

研究项目位于重庆市北部的两江新区，紧靠悦来组团城市中心，距重庆市 CBD 解放碑） 20 公里。

（一）规划思路

蔡家蜂窝城市项目规划范围面积约 10 平方公里，平均容积率为 2 左右，总建筑量 1000 万平方米左右，预计容纳人口 25 万人左右。根据原控规，区内的公共服务设施主要集中分布在南侧的商业商务服务带上，中部大量的居住区公共服务设施非常少，如果按照原规划建成以后，很可能形成如下的情形：一是由于居住区域公共服务设施较少，居住人住的意愿较弱，较长时间内区内的公共服务设施不会建设或不会正常运营，最终导致整个地区的城市公共服务水平差，人住率低，成为“死城”，从而造成资源浪费，是城市建设过程中的高碳模式；二是人住的居民日常生活非常不方便，无论是就业还是日常生活必须进行较长距离的出行，形成了城市运营阶段的高碳模式。

这里以着力构建低碳宜居城市为目标，应用蜂窝理念，从以下几个方面人手对原规划进行优化。

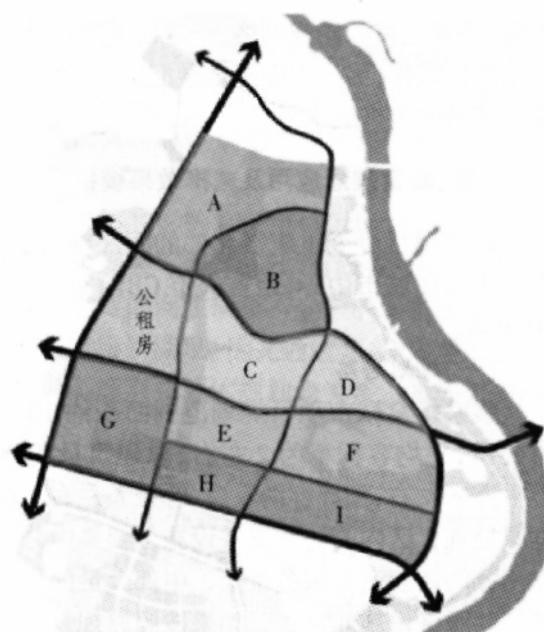
1. 科学划定蜂窝单元

依托交通和市政走廊等人工要素及河流、山体等自然要素将规划区分为大小不等的蜂窝单元，蜂窝单元的平均规模为 1 平方公里左右。如图一（下页）所示，可将规划区分为 9 个蜂窝单元。

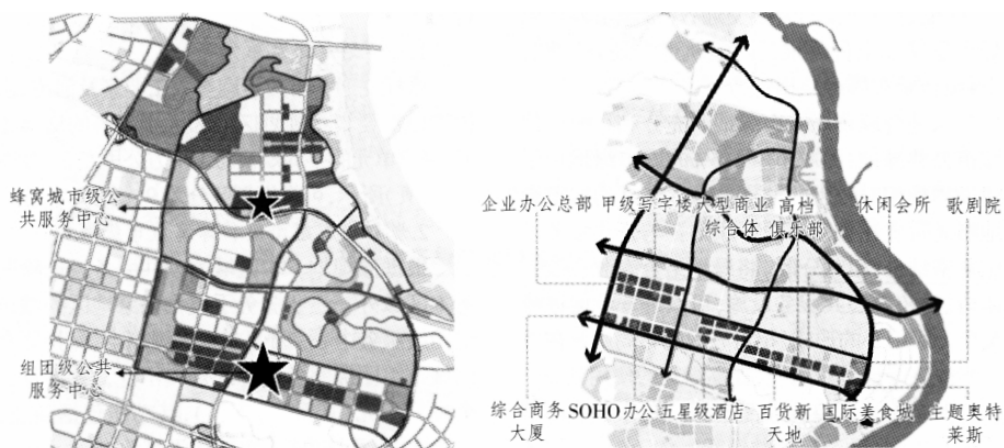
2. 规划形成组团级和蜂窝城市级服务中心

根据原规划，本区域的公共服务设施除服务本区域外，还要服务于整个蔡家地区的城市组团级服务中心。因此在本次规划中，保持原有的城市组团级服务中心的规模不变，共涉及三个蜂窝单元（见图二，下页），其功能包括商业、主体商业、酒店办公、娱乐休闲等业态。

同时将剩余公共服务设施用地中的 15% 提取出来与城市级公共服务中心一起建设蜂窝城市级服务中心，采用以公共交通为导向的开发模式，主要依托轨道站点进行布局，主要的功能包含商业、医疗、文化等功能。



图一 蔡家蜂窝城市蜂窝单元的划分



图二 蔡家蜂窝城市组团级服务中心和蜂窝城市级服务中心

3. 规划蜂窝单元级服务中心

在确定城市级和蜂窝城市级服务中心后，将剩余的公共服务设施用地按照蜂窝单元的实际居住人口进行等比例分配，功能包括商业、教育、医疗、娱乐休闲等，并尽量居中布局，提高可达性，形成 6 个蜂窝单元级服务中心（见图三，下页）。



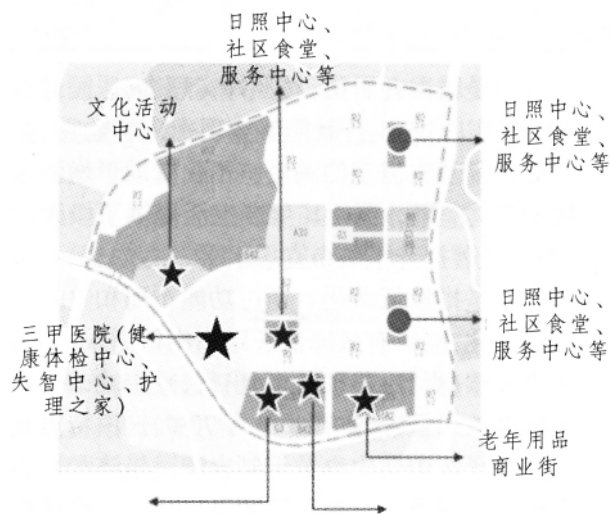
图三 蔡家蜂窝城市蜂窝单元级服务中心

4. 调整功能布局，促进功能混合

将原集中在滨江布局的产业功能适当分散到每个蜂窝单元，让每个蜂窝单元均能够提供一定的就业岗位，从而促进职住平衡。在蜂窝单元中部，集中布局 4 个地块的商业商务用地，可容纳就业人口 1000 人，与区内的居住人口相匹配。

5. 构建巧分钟生活圈

如图四（下页）所示，按照蜂窝理念，着力构建巧分钟生活圈。最邻近居住区的是日照中心、社区食堂、小卖部等公共服务设施，其步行距离不超过 250 米；其次是小区中部的蜂窝单元级公共服务中心，布局文化活动中心、商业服务设施等，服务半径约 500 米，均可以步行 15 分钟到达；最后是小区南侧依托轨道站点布局的蜂窝城市级服务中心，其服务半径约为 1000 米，主要布局大型医疗、文化和商业商务设施。



图四 蔡家蜂窝城市中某蜂窝单元的公共服务设施布局

6. 完善的综合交通体系

构建步行+非机动车+公共交通（轨道交通）+私家车的综合交通体系。通过功能的合理布局，引导居民优先采用步行和非机动车出行，从源头上减少长距离出行需求。当需要长距离出行时，优先通过轨道、公交等公共交通出行。

7. 完善网络状绿地系统

充分利用各类自然生态资源如江河、溪谷、山地等以及市政和交通走廊作为绿地系统的骨架，相对分散的城市绿地散落其间，用绿道串联各类绿色形成网络状绿地系统。绿地系统作为碳汇，可以降低区域的碳排放水平，同时又是居民进行体育锻炼、娱乐休闲的重要场所。

（二）规划减排效果模拟

已有研究关于交通碳排放的计算最常用的有两种算法：一是基于燃料用量的算法，即交通总碳排放=出行车辆燃料用量×每种燃料的碳排放系数；二是基于交通里程的算法，即交通总碳排放=各类交通出行里程×各类交通出行方式的碳排放系数。

在城市居民通勤活动中，通勤距离和交通方式对碳排放的影响较大。鉴于通勤距离基本固定，因而采用基于距离的碳排放计算公式，由此得到出行交通碳排放量计算公式：

$$FT = \sum_{i=1}^n (L_i \times Q \times R_i \times E_i + J_i \times P \times D_i \times E_i)$$

其中，FT为交通碳排放总量； L_i 为上班出行中第*i*类交通工具的出行里程， Q 为上班出行的频次， R_i 为第*i*类交通工具的分担率； J_i 为日常生活出行中第*i*类交通工具的出行里程， P 为日常生活出行的频次， D_i 为第*i*类交通工具的分担率， E_i 为第*i*类交通工具的单位里程碳排放强度。

1. 原规划碳排放量计算

项目规划居住人口 25 万，按实际居住人口 20 万人计算，根据重庆市的相关调查，主城区人均日出行次数为 2.5 次，故本项目的日均出行次数约为 50 万次。根据田宇（2011）关于重庆市主城区出行特征的研究，按照市民出行特征，将出行分为上班和日常生活（上学、购物、生活和娱乐），上班出行一般表现为是跨组团、长距离出行，占总出行的 30%左右；日常生活表现为组团内部的短距离出行，占总出行的 70%。根据一份基于百度“我的 2014 年上班路”互动活动数据的调查研究，2014 年重庆平均上班距离 14.12 公里，为远距离出行，故出行结构为地面公交占 50%，轨道交通占 55%，小汽车占 30%，出租车占 9%^①参考《重庆市主城区交通发展年度报告·2014》的相关数据，预测日常生活出行中，非机动化出行占比 67%，地面公交占 17%，轨道交通占 3%，小汽车占 10%，出租车占 3%，平均出行距离按照 3 公里计算。

据此计算项目每天的交通碳排放总量，计算结果为：项目每天的交通碳排放总量约为 306 吨，其中上班出行交通碳排放量为 275 吨，占总排放 90%左右；项目人均交通碳排放量约为 1.5 公斤（见表 2）。

表 2 项目原规划交通碳排放

交通方式	排放强度 g/(p·km)	上班				日常生活(上学、购物、生活和娱乐)				
		各交通方式分担率	出行频次	出行距离	碳排放量(kg)	各交通方式使用比例	出行频次	出行距离(km)	碳排放量(kg)	碳排放总量(kg)
步行、非机动车	0	0	—	—	—	67%	1.75	—	—	0
公交车	20	50%	0.75	14	21000	17%	1.75	2	2380	23380
轨道交通	61	11%	0.75	14	14091	3%	1.75	2	1281	15372
出租车	317	9%	0.75	14	59913	10%	1.75	2	22190	82103
自驾车	285	30%	0.75	14	179550	3%	1.75	2	5985	185535
合计	—	100%	0.75	—	274554	100%	1.75	—	31836	306390

2. 按照蜂窝理念修改后规划碳排放量

按照蜂窝理念改造后，项目内的居民出行特征发展了较大变化。由于蜂窝内提供了大量的就业岗位，预测 50%的市民在蜂窝单元内就业；得益于良好的交通衔接，区内居民长距离出行中公共交通分担率提升；蜂窝单元内购物、餐饮、学校、医院、体育设施、公园等配套服务设施齐全，居民日常生活的出行距离缩短。

据此计算项目每天的交通碳排放总最，计算结果为：项目每天的交通碳排放总量约为 97 吨，其中上班出行交通碳排放量为 89 吨，占总排放 91%左右；项目人均交通碳排放量约为 0.5 公斤左右（见表 3）。相比原规划，减少 68%左右的碳排放，每天减少约 200 吨二氧化碳排放，年减少碳排放超过 7 万吨。

表 3 项目经蜂窝理念改造后交通碳排放量

交通方式	排放强度 g/(p·km)	上班				日常生活(上学、购物、生活和娱乐)				
		各交通方式分担率	出行频次	出行距离	碳排放量(kg)	各交通方式使用比例	出行频次	出行距离(km)	碳排放量(kg)	碳排放总量(kg)
步行、非机动车	0	50%	—	—	—	80%	1.75	—	—	0
公交车	20	30%	0.75	14	12600	10%	1.75	1	700	13300
轨道交通	61	10%	0.75	14	12810	3%	1.75	1	641	13451
出租车	317	5%	0.75	14	33285	5%	1.75	1	5548	38833
自驾车	285	5%	0.75	14	29925	2%	1.75	1	1995	31920
合计	—	100%	0.75	14	88620	100%	1.75	1	8883	97503

（三）蜂窝理念的优越性和适用性探讨

1. 蜂窝理念的优越性

蜂窝城市理念的构建继承了“田园城市”、“邻里”等规划理念，并结合我国近现代小城镇建设的经验，更加注重生产、生活、生态空间的合理布局，具有一定的优越性。

一是城市宜居化。按照蜂窝理念，居民通过 30 分钟以内的步行就能够实现上班、购物、医疗等日常基本需求的满足，不仅有助于增强居民的身体素质，更为其生产生活提供了极大的便利，显著提升了城市宜居水平。

二是排放低碳化。通过功能布局 and 空间结构的优化，能够有效降低长距离出行需求，转为依靠零碳（步行+非机动车）出行，减少城市交通的碳排放总量（最高可减排约 70%）。该特点高度契合了《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十三个五年规划的建议》中关于“推进交通运输低碳发展，实行公共交通优先，加强轨道交通建设，鼓励自行车等绿色出行”的要求。

三是资源集约化。在蜂窝城市开发过程中，每个蜂窝单元都具有一定独立性，可以单独开发建设，有助于城市建设资金和土地资源的集约节约利用，有效降低地方政府财政压力和避免土地开发盲目扩张。

四是建管高效化。在蜂窝城市体系中，每个蜂窝单元自成体系，且各具特色。通过各蜂窝单元的分批次滚动开发，合理控制城市建设节奏和规模，切实增强城市建设与管理的效率。

2. 蜂窝理念的适用性

第一，最为适用地区是城市新兴拓展地区、县城及小城镇建设、大规模旧城改造地区。

在城市新兴拓展地区 and 大规模旧城改造地区，限制性条件相对较少，可充分应用蜂窝城市的规划理念，对城市功能和空间组织进行合理的安排，并有序推进各蜂窝单元的城市建设工作，因而其适用性最为契合。

县城及小城镇的空间尺度与蜂窝城市的尺度较为相近，功能体系也较为丰富，市场的诱导力相对较弱，易于按照城市规划形成功能和空间结构，因此非常适合应用蜂窝理念以提高县城及小城镇市民的生活品质，促进低碳化发展。

第二，中度适用地区是以服务业为主的城市更新地区。

在以商业、服务业、金融保险等以第三产业为主的城市建成区域，各产业项目业主的土地利用规模相对较小，其城市空间结构和功能一般会随着时间的推移进行缓慢的局部更新和演变。在这样的城市空间里，尽管难以在短时期内全面推行蜂窝城市理念，但仍可望在城市更新过程中逐渐融入蜂窝城市的基本理念，最终实现从传统城市向蜂窝城市的转变。

五、结语

蜂窝理念较好地协调了城市功能空间结构与居民出行的关系，是城市低碳化发展在规划领域的积极探索之一。该理念以完整性、层次性、协调性、有序性和开放性五大核心理念为依托，从合理确定蜂窝城市规模、发展多级公共服务中心、职居步行 30 分钟内（职住平衡）、形成 15 分钟生活圈、构建低碳交通体系、合理布局城市绿地、构建网络化碳汇资源等七个方面入手，着力优化城市功能布局 and 空间结构，降低长距离出行的需求，提高公共交通分担率，在蜂窝城市内部倡导以零碳排放出行（步行+非机动车）为主的出行方式，最终实现低碳宜居新城的规划建设目标。

以重庆两江新区蔡家项目为例，应用蜂窝理念并进行规模模拟研究，研究结果表明，通过应用蜂窝理念，实现了较好的减排效果（蜂窝城市理念应用后相比原规划可降低 68%的碳排放）。

鉴于蜂窝理念的应用具有首创性，尚未在更多的城市区域开发中得以实践，其实施成效有待进一步检验。下一步将结合蔡家项目的具体推进，以及实证案例的不断丰富，同时加强研究，不断丰富和完善蜂窝理念。

蜂窝理念通过实现“职住平衡”来减少居民的长距离出行需求，但由于蜂窝理念还主要应用于城市规划阶段，也就是说这个“职住平衡” 仅仅是指规划土地利用上的平衡，而实际城市运行过程中，市民的居住和就业活动是在市场进行的，可能会受到房屋价格、工作机会、教育机会等诸多因素的影响而打破规划的“职住平衡”，因此下一步将结合蔡家项目的具体推进，进一步探索研究规划技术、行政管理、市场诱导等相协调的综合手段，从而实现真正的“职住平衡”，形成一条可靠的的城市低碳化发展路径。