

上海低碳建筑的发展现状 及目标策略研究

谢福泉 黄佳裕

(华东师范大学商学院 上海 200241)

摘要: 实现 2040 年上海发展低碳建筑战略目标的关键举措包括: 一是可再生能源的应用。随着新能源技术的创新和不断成熟, 使太阳能和地热能等新能源在建筑中得到广泛应用。二是确定低碳建筑标准, 增加低碳建筑的规模和比例。三是完善政府政策, 为发展低碳建筑设计完整的政策体系。四是提高低碳意识及激励机制的创新, 树立低碳环保的价值观。

关键词: 低碳建筑 碳排放 可再生能源

中图分类号: X321 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-1309(2015)11-0078-010

一、低碳建筑的内涵和模型

(一) 低碳建筑的内涵

低碳建筑是低碳经济在建筑领域的一种具体形态, 以满足人类宜居舒适为出发点, 通过制度创新和技术创新, 改善能源结构, 提高能源效率, 降低建筑物化和运行过程中以 CO_2 为主的温室气体的排放量, 以实现人类社会的可持续发展。由此, 可以简单地将低碳建筑理解为低能耗、低碳排放的建筑。本文从 3 个方面来把握低碳建筑的合理内涵:

首先, 低碳建筑应实现人、建筑 and 环境的和谐与均衡, 实现经济、生态和社会效益的统一。在宏观层面上, 低碳建筑是要在整个建筑过程中, 以有效提升资源使用效率、尽可能降低资源消耗量和碳排放量为目的, 进行生态化、绿色宜人环境的构建; 要以实现人、建筑 and 环境的和谐与均衡为原则, 提升资源利用率, 利用可再生清洁能源, 以减少对传统资源的消耗, 减轻自然环境的负荷。所以, 它的宏观涵义应当强调建筑在建造和使用过程中高效利用资源, 减少对环境的污染; 要求人们在利用自然条件和技术手段创造良好、健康居住环境的同时, 应尽可能地控制和减少对自然环境的过度使用和破坏, 维持生态环境和人类向大自然的索取和回报之间的动态平衡。不仅如此, 低碳建筑更要以生态(自然和人文)系统的良胜循环为基本原则, 运用生态系统的生物共生和物质多级传递循环再生原理, 应用系统工程方法和多学科的现代绿色科技成就, 根据当地环境和资源状况, 强调优化组合住区的功能结构, 实现经济、生态和社会效益三结合的新型人类聚居环境和建筑体系。它具有满足整体生活需求、高效和谐、自养自净、无废无污、节能节地、文脉延续等特征, 既是节能、环保、健康舒适、讲究效率的建筑生产方式, 也是符合可持续发展方向的人类生活方式。

其次, 低碳建筑应实现建筑产品全生命周期的低碳化。在中观层面上, 低碳建筑要充分考虑建筑产品生命周期的各个阶段的低碳、节能与环保, 并最大限度地减少温室气体排放量。要实现低碳环保, 则要从设计阶段入手, 一个明确而详细的减少温室气体排放的方案是实践低碳建筑的基础和关键所在, 要充分囊括建筑生命期内建筑材料与设备制造建造使用和拆除处置各阶段温室气体的排放计划。具体的一个低碳建筑的形成过程要求其在设计过程中, 广泛利用太阳能、风能、地热等可再生清洁能源, 满足建筑物内部资源的封闭循环使用, 减少能源消耗; 在建造过程中, 采用低碳技术、使用低碳材料, 最大限度地减少能源消耗和碳排放; 在使用过程中, 改变原有的生活模式及消费观念, 使用高能低耗空调、照明及节能家电, 以延长建筑及生活用品的生命周期, 减少碳排放。

最后, 低碳建筑是一个“物质流”过程。在微观层面上, 低碳建筑应包括下列 3 个方面的物质活动: 在建筑全生命周期过程的进口环节, 要用太阳能、风能、生物能等可再生能源替代化石能源等高碳性的能源; 在转化环节, 要大幅度提高化石能源的利用效率, 加强建筑节能; 在出口环节, 要通过植树等绿化面积的增加, 吸收建筑活动所排放的 CO_2 , 即所谓碳汇(诸大

建；2008)。

综合文献观点，本文认为低碳建筑是在不影响功能、美观和舒适度的前提下，在建筑规划设计中要有明确而详细的减少温室气体排放的方案；在建造过程中，充分采用低碳材料、低碳技术以及合理的开放强度；在使用过程中，强化低碳意识，使用高能低耗空调、照明及节能家电，提倡循环使用与重复使用，减少碳排放；在报废和拆除中，做到建筑材料可循环利用，做到使用最少的建筑材料消耗最少的能源及产生的废弃物最少，是全生命周期的绿色低碳、低能耗的建筑。

（二）低碳建筑的碳排放模型

影响建筑碳排放量的主要因素有：建筑规模、单位建筑面积的各种能源消耗量以及各能源单位能耗 Co₂ 排放量，同时还取决于建筑使用中可再生能源对传统能源的替代率 K。公式如下：

$$CO_{2\text{建筑}} = \sum [S \times \frac{E_i}{S} \times \frac{CO_{2i}}{E} \times (1 - k)]$$

其中：S——建筑规模；E_i——第 i 种传统能源的消耗量；CO_{2i}——单位 i 种能源的 CO₂ 排放量；k——可再生能源对传统能源的替代率。

二、上海低碳建筑发展现状

（一）研究范围

本文针对城市建筑中的民用建筑进行能耗统计以及碳排放计算，将民用建筑分为居住建筑和公共建筑，通过建筑在使用过程中的电力消耗和热力消耗来研究碳排放的现状和趋势。

根据建筑终端用能类型，居住建筑能耗可分为空调、电器、照明、炊事以及生活热水，其中空调、电器、照明归于电耗范围，炊事以及生活热水归于热耗的范围。公共建筑能耗可分为空调、插座、照明、电梯、炊事、采暖及各种服务设备，其中空调、插座、照明、电梯及各种服务设备归于电耗范围，炊事以及采暖归于热耗的范围，见表 1。

表 1 上海低碳建筑能耗终端类型

民用建筑分类	电耗	热耗
居住建筑	空调、电器、照明	炊事、生活热水
公共建筑	空调、插座、照明、电梯及各种服务设备	炊事、采暖

居住建筑电耗：数据来源于《中国能源统计年鉴》中的上海能源平衡表（实物量），为表中生活消费电力消耗值，包括居住建筑在空调、照明及电器 3 个方面的电能消耗。

居住建筑热耗：数据来源于《中国能源统计年鉴》中的上海能源平衡表（实物量）。本文将生活消费的原煤、液化石油气、天然气、焦炉煤气、其他煤气以及热力的消耗作为居住建筑在使用过程中热力消耗，包括在热水和炊事两方面的热能消耗。生活消费中的汽油、原油、煤油、燃料油及其制品主要用于日常生活中的出行、私人交通，不属于居住建筑热力能耗的数据。

公共建筑电耗：数据来源于《中国能源统计年鉴》中的上海能源平衡表（实物量），包括第三产业中交通运输、仓储及邮政业，批发零售及住宿餐饮业以及其他 3 项（包括办公，学校及事业单位）的电力消耗值，将这些数据作为公共建筑在使用过程中的电能消耗，包括公共建筑在空调、插座、照明、电梯及各种服务设备的电能消耗。

公共建筑热耗：数据来源于《中国能源统计年鉴》中的上海能源平衡表（实物量），包括第三产业中交通运输、仓储及邮政业，批发零售及住宿餐饮业以及其他 3 项（包括办公，学校及事业单位）的能源数据，用于热水以及采暖。主要是原煤、天然气、液化石油气、煤气及热力的消耗量，而汽油、原油、煤油、燃料油及其制品主要用于交通运输和制造过程，不属于公共建筑热力能耗的数据。

根据国家发改委公布的中国区域电网基准线排放因子以及中华人民共和国环境保护标准（HJ2506-2011），电力仪飞转化系数（EF），见表 2。

表 2 华东区域电网电力 CO ₂ 转化系数(EF)						
年份	2005 EFgrid, OM,y	2009 EFgrid, OM,y	2010 EFgrid, OM,y	2011 EFgrid, OM,y	2012 EFgrid, OM,y	2013 EFgrid, OM,y
数值	0.928	0.8825	0.8592	0.8367	0.8244	0.8100

注：(1)华东区域电网包括：上海市、江苏省、浙江省、安徽省、福建省；(2)2005 年资料来源于《省级温室气体清单编制指南》(发改办气候[2011]1041 号)；(3)2009—2013 年资料来源各年度的中国区域电网基准线排放因子公告；(4)2013 EFgrid,OM,y 为 2013 年的电力排放系数,OM 为 2009—2011 年电力边际排放因子的加权平均值。

(二) 上海居住建筑碳排放

1. 上海居住建筑碳排放总量分析。根据统计数据以及相关折算系数，计算得出 2000-2012 年上海居住建筑的电能消耗以及热能消耗所产生的 Co2 排放情况，见表 3。

(1)建筑规模：2000-2012 年，居住建筑规模以 8.96%的增速，由 2000 年的 20856 万平方米增长到 2012 年的 58434 万平方米，增长了 1.8 倍。其中，2001-2005 年年均增长率为 12.75%，2006-2010 年年均增长率为 6.74%，2011 年的增长率为 4.63%，2012 年的增长率为 6.10%。，居住建筑规模不断增长，但增长率相较于前几年有所降低。居住建筑规模的不断扩大是上海城市发展的物质所需，以及城市化进程中不可或缺的物质前提，作为生活以及生产的场所，建筑规模的增长是社会发展的需求所致，将是长期存在的一种情况。

(2)电力消耗碳排放：2000-2012 年的数据表明，上海居住建筑在使用过程中的电力消耗所产生的 Co2 排放量呈明显的上升趋势，并且与上海的居住建筑规模增长趋势较为相近，略快于居住建筑规模增长的速度。Co2 排放量从 2000 年的 452.2()万吨增加到 2012 年的 1611.46 万吨，年均增长率达到 11.17%。其中，2001-2005 年的年均增长率为 15.74%，2006-2010 年的年均增长率为 9.12%，2011 年的增长率为 3.71%。2012 年的增长率为 6.94%。建筑规模变化趋势与电力消耗碳排放增长趋势具有高度相关度。建筑规模增长速度的减缓是居住建筑电耗碳排放的增长率下降的主要因素。

(3)热力消耗碳排放：2000-2012 年，上海居住建筑在使用过程中的热力消耗所产生的 Co2 排放量呈不明显的 S 型曲线发展，总量变化幅度较小，2000-2002 年有所下降，从 2003 年起，由热能消耗产生的 C02 总量总体是逐年上升的，由 2003 年的 398.09 万吨增长到 2012 年的 584.25 万吨，增长了 46.76%。

2. 上海居住建筑单位面积 C02 排放量分析。2000-2012 年，居住建筑在使用中的电力消耗，单位规模的产生的 Co2 排放量呈上升趋势。也就是说，对于单位规模的建筑，电力能源的使用增加，使得单位面积的碳排放压力不减反增。

相反，对于居住建筑在使用中的热力消耗，单位面积所产生的 C02 排放量逐渐减小，尤其在 2000-2003 年，下降幅度较大，2003 年以后下降幅度急剧减小，在 2006 年出现过比较大的上升。从总体看，2000-2012 年，单位面积的 C02 排放量呈幅度逐渐减小的下降趋势。

表 3 上海居住建筑的规模以及 CO₂ 排放量

年 份	居住建筑规模 (万平方米)	电耗 CO ₂ 排放量 (万吨)	电耗单位面积 CO ₂ 排放量(kg/m ²)	热耗 CO ₂ 排放量 (万吨)	热耗单位面积 CO ₂ 排放量(kg/m ²)
2000	20856	452.20	21.68	510.88	24.50
2001	23475	490.10	20.88	439.76	18.73
2002	26906	531.90	19.77	418.80	15.57
2003	30560	712.70	23.32	398.09	13.03
2004	35211	779.50	22.14	432.86	12.29
2005	37997	939.10	24.72	443.30	11.67
2006	40857	1052.40	25.76	505.24	12.37
2007	43283	1127.60	26.05	530.92	12.27
2008	47195	1260.33	26.70	491.44	10.41
2009	50211	1311.67	26.12	508.60	10.13
2010	52640	1452.97	27.60	535.60	10.17
2011	55077	1506.89	27.36	553.90	10.06
2012	58434	1611.46	27.58	584.25	10.00

(三) 上海公共建筑碳排放

1. 上海公共建筑碳排放总量分析。上海作为一个多元化的大城市，公共建筑在日常工作和娱乐中，被赋予越来越高的要求，公共建筑应作为表率进行低碳化。

公共建筑包含办公建筑（如写字楼、政府部门办公室等），商业建筑（如商场、金融建筑等），旅游建筑（如酒店、娱乐场所等），科教文卫建筑（如文化、教育、科研、医疗、卫生、体育建筑等），通信建筑（如邮电、通讯、广播用房）以及交通运输类建筑（如高铁站、火车站、汽车站等）。由于公共建筑类型较为复杂，不同的设备，功率有很大的差别，公共建筑一般具有规模大、空间大的特点，在冬天取暖和夏天冷气方面的消耗要远远大于在居住建筑中取暖和冷气的能耗。

根据统计数据以及相关折算系数，计算得出 2000-2012 年上海公共建筑的电能消耗以及热能消耗所产生的 Co₂ 排放情况，见表 4。

(1)建筑规模：2000-2012 年，公共建筑规模以年均 10.86% 的速度增长，由 2000 年的 13341 万平方米增长到 2012 年的 46134 万平方米，增长了 2.5 倍。其中，“十五”期间年均增长率为 14.45%， “十一五”期间的年均增长率为 9.34%， 2011 年的增长率为 5.04%，2012 年的增长率为 7.25%，公共建筑的增幅从整体上看，呈现出逐渐减缓的趋势，城市建设更注重质量的提升，以从质上改变城市面貌和改善市民的生活条件。

(2)电力消耗碳排放：根据统计数据，上海公共建筑的电能能耗在逐年上升，电力消耗碳排放由 2000 年的 847.9 万吨 Co₂ 到 2012 年 2950.99 万吨 Co₂，增幅达 3 倍多。其中，2001-2005 年年均增长率为 12.73%，2006-2010 年年均增长率为 11.45%，2011 年的增长率为 5.44%，2012 年的增长率为 5.48%。从其与公共建筑规模的趋势上比较，两者存在很强的相关性。

(3)热力消耗碳排放：2000-2012 年，上海公共建筑在使用过程中的热力消耗所产生的 Co₂ 排放量数值较小，但其变化也相当大，从 2000 年的 163.61 万吨增长到 2012 年的 498.22 万吨，增长了 3 倍左右。

表 4 上海公共建筑的规模以及 CO₂ 排放量

年 份	公共建筑规模 (万平方米)	电耗 CO ₂ 排放量 总量(万吨)	电耗单位面积 CO ₂ 排放量(kg/m ²)	热耗 CO ₂ 排放量 总量(万吨)	热耗单位面积 CO ₂ 排放量(kg/m ²)
2000	13341	847.90	63.56	163.61	12.26
2001	14849	987.80	66.52	225.35	15.18
2002	16526	1164.40	70.46	224.17	13.56
2003	20815	1342.49	64.50	258.17	12.40
2004	24103	1455.50	60.39	336.15	13.95
2005	26201	1543.30	58.90	297.57	11.36
2006	29425	1633.80	55.52	313.99	10.67
2007	31590	1821.43	57.66	416.03	13.17
2008	33926	2050.74	60.45	315.53	9.30
2009	37116	2333.68	62.88	468.05	12.61
2010	40952	2653.51	64.80	449.55	10.98
2011	43015	2797.74	65.04	463.02	10.76
2012	46134	2950.99	63.97	498.22	10.80

2. 上海公共建筑单位面积 Co2 排放量分析。2000-2012 年,对公共建筑在使用中的电力消耗,电耗单位面积 Co2 排放量曲线呈 S 型。单位规模的建筑中电力的使用处于上下起伏的波动状态,由 2000 年的 63.56 万吨增加到 2012 年的 63.97 万吨,在 55.52 万吨—70.46 万吨这个较小的区间内存在起伏。

对公共建筑在使用中的热力消耗,单位面积所产生的 Co2 的上下起伏频率高,且波动幅度较小,由 2000 年的 12.26 万吨降低到 2012 年的 10.80 万吨,呈整体上的小幅度下降。

(四) 上海民用建筑碳排放

1. 上海民用建筑碳排放总量分析。根据统计数据计算得出 2000-2012 年上海民用建筑的电能消耗以及热能消耗所产生的 Co2 排放量,总量和单位面积排放情况,见表 5。

表 5 上海民用建筑的规模以及 CO₂ 排放量

年 份	民用建筑规模 (万平方米)	电耗 CO ₂ 排放量 (万吨)	电耗单位面积 CO ₂ 排放量(kg/m ²)	热耗 CO ₂ 排放量 (万吨)	热耗单位面积 CO ₂ 排放量(kg/m ²)
2000	34197	1300.10	38.02	674.50	19.72
2001	38324	1477.90	38.56	665.11	17.36
2002	43432	1696.30	39.06	642.97	14.80
2003	51375	2055.19	40.00	656.26	12.77
2004	59314	2235.00	37.68	769.01	12.97
2005	64198	2482.40	38.67	740.88	11.54
2006	70282	2686.20	38.22	819.23	11.66
2007	74873	2949.03	39.39	946.95	12.65
2008	81121	3311.07	40.82	806.97	9.95
2009	87327	3645.35	41.74	976.65	11.18
2010	93592	4106.48	43.88	985.15	10.53
2011	98092	4304.62	43.88	1016.91	10.37
2012	104568	4562.45	43.63	1082.47	10.35

(1) 建筑规模:2000-2012 年,民用建筑规模以 9.55%的速度增长,由 2000 年的 34197 万平方米增长到 2012 年的 104568 万平方米,增长 2.1 倍左右,其中,2001-2005 年的平均增长率为 13.42%,2006 年到 2010 年的平均增长率为 7.83%,2011 年的增长率为 4.81%,2012 年的增长率为 6.60%。从整体趋势看,上海民用建筑规模增速趋于平缓。

(2) 电力、热力消耗碳排放:2000-2012 年,上海民用建筑在使用过程中的电力以及热

力消耗所产生的 Co2 排放量随民用建筑规模的扩大而扩大，但从增幅上看，电耗 Co2 的排放量增幅和民用建筑规模的增幅接近，远远高于热耗 Co2 排放量的增幅。

2. 上海民用建筑单位面积 Co2 排放量分析。2000-2012 年，民用建筑在使用中的电力消耗，单位规模的产生的 Co2 排放量曲线除个别年份外，大体呈现逐步上升的趋势。而热耗的单位面积碳排放呈现频繁的小幅度波动，但幅度保持在一个较为狭窄的范围。

居住建筑与公共建筑的单位 Co2 排放基本呈相反方向的波动，在两者的综合影响下，民用建筑的单位面积排放量变化幅度较小。值得强调的是，绿色低碳的目标是要达到碳排放的相对减少，做到在使用过程中的节能环保，单位面积低碳化。2000-2012 年，民用建筑单位面积 Co2 排放量保持相对稳态，单位面积低碳化未见明显成效。

三、现存问题和影响因素

（一）现存问题

通过对 2000-2012 上海民用建筑碳排放量的数据分析，可以总结出，目前上海建筑低碳化过程中存在的问题：

1. 上海居住建筑 Co₂ 排放量逐年上升。上海居住建筑 Co₂ 的排放总量从 2000 年的 963.08 万吨增长到 2012 年的 2195.71 万吨，上升 2.28 倍；同期，上海居住建筑的规模不断地扩大，从 2000 年的 20856 万平方米增长到 58434 万平方米，上升 2.80 倍，两者的增幅和趋势基本保持一致。

单位居住面积的 Co₂ 排放量呈现上下幅度较小的起伏波动，未见乐观稳定的下降趋势。在“十五”和“十一五”期间，单位居住面积的 Co₂ 排放量持平。由此推断，伴随建筑规模和能源需求总量的扩大，单位居住面积的碳排放量未出现明显的下降，目前低碳意识和理念的推广还没有获得有效成果。

2. 上海公共建筑 Co₂ 的排放总量呈递增趋势。上海公共建筑 Co₂ 的排放总量从 2000 年的 1011.51 万吨增长到 2012 年的 3449.21 万吨，上升 3.41 倍。同期，上海公共建筑规模也较快地扩大，从 2000 年的 13341 万平方米增长到 2012 年的 46134 万平方米，上升 3.46 倍，两者的增幅和趋势也基本保持一致。

上海公共建筑的单位面积 Co₂ 排放量呈 S 型发展，“十一五”期间呈上升趋势，“十二五”期间有较大概率呈增加趋势。公共建筑使用过程中的碳排放量是根据第三产业中各种建筑使用的能耗进行计算，比如办公楼、商场、酒店、学校、医疗卫生机构。随着城市生活水平的提高，对各种机构、场所的要求也日益提高，在使用过程中，对于舒适度要求的增高无疑在一定程度上阻碍了低碳化进程。

3. 上海民用建筑整体热力消耗并未减少。从上海民用建筑整体上看，“十五”及“十一五”期间单位建筑面积的电力、热力的消耗并未稳步减少，几乎是持平的。

（二）影响因素分析

上海居住建筑能源消耗及 Co₂ 排放量受诸多因素的影响，包括：上海的 GDP 产值的上升、居民收入水平和平均购买力的提高、社会福利水平的发展、居民受教育程度的提高以及居住过程中节能措施的改善、新能源的开发使用成本的降低和技术的成熟、节能减排相关激励制度的完善等因素。上海公共建筑与居住建筑的功能不完全一样，主要是供一个或多个企业实现经营、服务等诸多功能的一个场所，制约其碳排放的因素必然是不完全相同的。它主要受企业的经营状况、经营模式、企业性质、企业文化和规章制度等方面因素的影响。一般而言，民用建筑实现节能减排的主要影响如下：

1. 建筑规模的不断扩大。近十几年来，随着房地产市场的不断升温，居住、商业和投资需求的不断提升，开发商拿地和开发的热情饱满，建筑规模随着上海外来人口不断增加和对房屋需求的旺盛而不断地扩大，而建筑规模的扩大，直接地导致了建筑在使用过程中 Co₂ 的排放总量的上升，上文的数据分析也证明了建筑规模与 Co₂ 排放量的变化趋势是基本一致的结论。

2. 建筑使用过程中的能源结构。在上海民用建筑的使用过程中，最常用的能源包括有电能、原煤、天然气、液化石油气、煤气以及热力等传统能源，加上太阳能等可再生能源。数据分析表明，电力的能源消耗所占比例较大，而对于热耗，居住建筑中，天然气、液化石油气以及原煤所造成的碳排放量较大，其中原煤消费量在逐渐减少，天然气与液化石油气消费量在不断地上升。公共建筑中，使用量较多的是原煤与天然气，其中原煤保持着上涨的趋势。在这些能源中，电能、天然气、煤气都是传统能源中比较清洁的能源。对于太阳能等可再生能源的使用，包括太阳能热水器和太阳能照明设备等的运用，较为常见，但也只能作为一种辅助的创新，大规模普及还需要考虑技术的成熟性以及相关成本，对于节能减排的贡献还有待其技术的完善和推广。

3. 民众生活水平的提高。能源是经济、社会发展和提高民众生活水平的重要物质基础。民众生活水平、收入和购买力水平的提升带来人们追求较高的生活享受，这势必造成更大的能源消耗，尤其是对于制冷、采暖，更注重舒适度，采用高能耗的电器以便于追求方便和快捷，而非节能低碳。另一方面，伴随人工成本的上升，现实中许多场所采用的人力尽可能用机器设备作为替代，这对节能减排工作存在着不可避免的阻碍。

4. 社会公众参与度较低。尽管社会公众对低碳环保的关注和认识度在不断地提高，但公众对于低碳的认识大多是通过口号式的宣传、广告，却不知道如何在建筑使用过程中科学合理地达到节能低碳的环保目的。去购买相对节能的优质家用电器是大多数家庭参与到低碳建设的一种行为。

但是，对于低碳化的生活和工作模式，只有为数不多的人去实践低碳生活。公众仍然停留在低层次的参与，还需进一步强化公众的深入参与和实践。

5. 缺乏有效的激励机制。在市场经济运行中，一个有效的激励机制是保证各种目标实现的一个催化剂。为了在民用建筑开发建设和使用过程中固化低碳集成技术，有效激励和奖惩是一个直接有效的方式。目前，上海针对工程项目实施了《节能技术改造财政奖励资金管理办法》，但还需进一步制定在建筑使用过程中与低碳相关的政策和制度来激励企业、公众参与低碳活动的积极性。

6. 相关政策制度的完善。针对低碳建筑，上海近年来出台了很多政策。比如，《民用建筑节能条例》对于新建和既有建筑都做出了相关意见和规定，并对违反条例的行为做出了处罚的规定；《上海市公共机构节能监察办法（试行）》中对于节能监督做出了要求和规范；另外还有《2000-2015 年新能源和可再生能源产业发展规划要点》（《电力需求侧管理办法》等，对于能耗的减少做出了相关意见和规定，给建筑方提供了一定的政策指南，但是国家对于如何计量碳排放的标准、具体如何实施等方面还缺乏相关的政策，对于公众在建筑使用过程中怎么做到低碳也缺乏相关指导。低碳建筑仍然缺乏一个完整的政策法律体系。

四、发展目标和对策建议

（一）发展目标

1. 分析方法。在自然资源有限的条件下，低碳建筑未来发展目标可以通过两种情景模式来进行研究分析。〔13〕本文结合建筑规模及单位建筑面积能耗，以两种情景模式分析方法为基础来预测上海市低碳建筑未来 30 年发展目标，见表 6。

表 6 上海建筑碳排放的未来发展模式

惯性模式	城市发展或经济增长和碳排放增长同步发展,保持单位面积碳排放的一定增长率,在不外加碳排放量制约的情景下,上海建筑碳排放的未来发展模式。
适宜模式	根据上海目前的“十二五规划”,区分新建筑与既有建筑的不同节能改造指标,未来单位面积的碳排放量根据“十二五规划”以及适当的再生能源替代率,达到可实现的综合约束下的低碳目标。

2. 未来发展目标。首先,本文运用 SPSS20 分别对居住建筑规模以及公共建筑规模进行回归,根据散点图可知,建筑规模与时间变量之间存在较强的线性关系。本文对居住建筑、公共建筑的规模进行线性回归与预测,回归模型如下:

$$Y=aX+b \qquad \text{公式(I)}$$

公式(I)中,a、b 为常数,Y 为建筑规模,X 为以 2000 年作为基期 1 的时间变量。

根据 2000-2012 年上海居住建筑面积数据进行线性回归,回归方程如下:

$$Y_1=3157.264X_1+18107.04 \qquad \text{公式(II)}$$

公式(II)中, Y_1 为居住建筑规模, X_1 为以 2000 年作为基期 1 的时间变量。回归结果显示常数项与一次项系数的 P 值均为 0.000,即回归结果显著,且回归方程的拟合度 R^2 达到 99.6%,拟合效果较好。本文采用此回归方程对 2013—2040 年上海居住建筑规模进行预测。

根据 2000-2012 年上海公共建筑面积数据进行线性回归,回归方程如下:

$$Y_2=2797.97X_2+9490.62 \qquad \text{公式(III)}$$

公式(III)中, Y_2 为公共建筑规模, X_2 为以 2000 年作为基期 1 的时间变量。回归结果显示常数项与一次项系数的 P 值均为 0.000,即回归结果显著,且回归方程的拟合度 R^2 达到 99.7%,拟合效果较好。本文采用此回归方程对 2013—2040 年上海公共建筑规模进行预测。根据回归预测的结果计算得出,2013—2040 年居住建筑规模的平均增长率为 3.36%,公共建筑规模的平均增长率为 3.60%。

“十一五”期间,对于新建建筑,建筑节能工作从试点到全方位推行,最终实现了新建民用建筑全部按照建筑节能标准设计和建造的目标,上海累计建成执行 50%及以上节能设计标准民用建筑面积 17021 万平方米。对于既有建筑的改造,全市累计完成节能改造建筑面积 2898 万平方米,其中居住建筑约占 2/3,公共建筑约占 1/3。

在《上海市“十二五”建筑节能专项规划》中,新建居住建筑自 2011 年起全面推行本市的 65% 节能设计标准,新建公共建筑在实施 50% 节能设计标准的基础上,通过试点示范工程,逐步推广实施更高节能标准,在原有基础上节能 20%—30%。2000-2012 年的数据分析显示,居住建筑及公共建筑在使用阶段的能耗从均值上基本保持不变。《可再生能源法》)(《上海市太阳能光伏发电项目管理暂行办法》等相继出台,可再生能源的利用得到重视和普及。目前《上海市“十二五”建筑节能专项规划》中规定 6 层以下居住建筑或有热水需求的新建公共建筑统一设计并安装标准的太阳能热水系统,鼓励 7 层以上居住建筑设计安装太阳能热水系统,可再生能源在建筑中的利用率维持在每年 .1% 的增长比例,而在 2010 年该比率不足 1%。

以下对于上海居住建筑与公共建筑的两种情形进行具体预测:

(1)居住建筑。

惯性情景：上海未来 30 年单位居住建筑面积 Co2 排放量采取近 6 年（2008-2012 年）平均数，即能源使用强度与原先保持一致；建筑规模保持 3.36% 的增长率，可再生能源在建筑中的利用率维持在每年 0.1% 的增长率。依此计算，预计到 2040 年，Co2 排放总量是 2012 年的 2.40 倍，平均每年居住建筑面积的 Co2 排放总量将以 3.18% 的比例上升。

适宜情景：上海未来 30 年居住建筑面积年均保持 3.36% 的增长率。考虑上海“十二五”期间的新建筑与既有建筑节能分别达到 50% 及 25% 的标准，年平均节能为 12.94% 及 5.59%，或采取国家在十一五计划中制定的标准，即新建筑每年平均 10%，既有建筑每年 5% 的节能标准，可再生能源在建筑中的利用率维持在每年 0.1% 的增长率，对居住建筑使用中的单位面积碳排放变化量进行预测，2040 年 Co2 排放总量为 2012 年的 0.31 倍，2012-2040 年年均居住建筑面积的 Co2 排放总量将以 4.05% 的比例减少，见表 7，

表 7 2040 年上海居住建筑 CO₂ 排放情景分析

类型	2040 年 CO ₂ 排放总量为基准年的倍数(2012)	建筑面积年增长率 (%)	CO ₂ 排放年增长率 (%)	可再生能源在建筑中的利用率年增长率 (%)
惯性情景	2.40	3.36	3.18	0.1
适宜情景	0.31	3.36	-4.05	0.1

(2) 公共建筑。

惯性情景：上海未来 30 年单位公共建筑面积采取近 5 年的平均数，即在不加节能约束情况下的碳排放发展模式。2013-2040 年，建筑规模保持 3.60% 的年增长率，可再生能源在建筑中的利用率维持在每年 0.1% 的增长率。预计到 2040 年，Co2 排放总量将是 2011 年的 2.71 倍。平均每年居住建筑面积的 Co2 排放总量将以 3.63% 的比例上升。

适宜情景：上海未来 30 年公共建筑面积年均保持 3.60% 的增长率，采取国家十一五规划中制定的标准，即新建筑年均减少 10%，既有建筑年均减少 5% 的节能标准，可再生能源在建筑中的利用率维持每年 0.1% 的增长率，依次对于公共建筑使用中的单位面积碳排放变化量进行预测。预计未来 30 年 CO2 排放量将以 3.77% 的速率减少，至 2040 年 CO2 排放总量为 2011 年的 0.34 倍，见表 8。

表 8 2040 年上海公共建筑 CO₂ 排放情景分析

类型	2040 年 CO ₂ 排放总量为基准年的倍数(2012)	建筑面积年增长率 (%)	CO ₂ 排放年增长率 (%)	可再生能源在建筑中的利用率年增长率 (%)
惯性情景	2.71	3.60	3.63	0.1
适宜情景	0.34	3.60	-3.77	0.1

(3) 小结。适宜情形是根据《上海市“十二五”建筑节能专项规划》的节能改造指标，按照规划的低碳路径预测的情形。通过新低碳建筑的增多、旧建筑低碳改造、政府部门和公众的低碳意识和行动的加强可实现该目标。

(二) 对策建议

为了实现 2040 年上海发展低碳建筑的战略目标，假设按照适宜情景的合理状态发展，关键的举措包括可再生能源的应用、建筑技术的创新和建筑标准的确定，政府政策和制度的完善，另外，还要提升公众对低碳建筑的参与度。

1. 可再生能源的应用。目前上海建筑用能结构是以传统能源为主，以太阳能为主的可再生能源为少量补充和替代，这种能源结构是碳排放较高的一种能源使用方式。随着新能源技术的创新和不断成熟，太阳能和地热能等新能源在建筑中的应用更加广泛。

2. 建筑技术创新和建筑标准确定。建筑在设计阶段就应规划出节能低碳的建筑技术，包括围护结构节能技术、能源系统节能控制技术、热泵技术、新风处理及空调系统的余热回收技术等，以达到建筑的整个生命周期的低碳化。可以说，设计阶段需制定明确而详细的减少温室气体排放方案，考虑到其后所有阶段的节能低碳，从规划上的创新是有效实现低碳的基础。相关部门应当通过建筑标准的科学制定，来增加低碳建筑的规模和比例。对于低碳建筑的确定，要通过不同的建筑类型制定差别化的标准，对现有的一些监督性、主观性过大的政策作补充或适当的修改。目前施行的《民用建筑节能条例》就存在建筑标准的缺失，完善和科学制定适合于一类建筑的建筑标准对低碳建筑的实施和推广具有关键性意义。

3. 政府政策与制度的完善。由于低碳建筑的高成本、低利润，很少有开发商愿意承担，政府部门应该为发展低碳建筑设计完整的政策体系。一是制定低碳建筑相关标准，对于其在建设过程、拆除过程以及正常使用时间和状况下的能源消耗制定一个明确而具体的标准，以明确界定低碳建筑。二是对于要建设低碳建筑的地块，制定独立的招投标制度。采用一定的政府鼓励来削弱在低碳建筑建设过程中的高成本所带来的损失，以调动开发商的积极性；提高新建建筑中低碳建筑的比例，低碳建筑市场应由政府主导逐渐转变为市场主导。三是设立专门的监督机构或赋予现有的建筑监理机构履行低碳建筑的监督检查职能。将材料采购、施工过程以及制冷采暖系统以及配置的各类家具和家用电器纳入监管环节。鉴于建筑使用过程中的监督在实施中较为困难，也不便于强制进行，可通过主观意识提高和自愿节能低碳为主。四是鼓励和扶持低碳技术开发和低碳产业的发展，加强低碳建筑创新的后备力量。

4. 低碳意识提高及激励机制的创新。社会公众在建筑使用过程中的行为属于个人行为，难以从政策上强制执行，应当强化公众的低碳意识，树立低碳环保的价值观，在日常生活中自觉履行节约能源的责任。比如，一些网站推出“碳计算器”，通过计算生活中的碳排放量，将低碳意识引入民众生活。同时，要树立个人碳预算意识，通过各种

渠道和途径将低碳概念引入到民众的日常生活。要激发更多人的低碳实践，需要制定有效的激励制度，如以单位面积的水、电、煤等能源的消耗量为标准对低碳家庭提供经济奖励或精神奖励。