

德国慕尼黑低碳建筑技术开发与应用及其对临港新城的启示

辛晓睿, 曾刚

(华东师范大学中国现代城市研究中心, 上海 200062)

摘要: 德国低碳城市建设技术世界闻名。本文较为系统地阐述了德国慕尼黑市碳减排的背景、目标和方案, 重点分析了慕尼黑的房屋整修、高效系统开发与应用、热电联产生产、多样发电方式的联动等低碳城市建设技术的特点和效果, 并论述了慕尼黑市低碳建筑技术开发和应用经验对上海临港新城低碳城市建设的启示。

关键词: 低碳城市; 低碳建筑; 慕尼黑; 临港新城

中图分类号: K921 **文献标识码:** A

1 引言

为应对全球变暖和能源危机、保持国家竞争力、达到国际环保要求以及实现成本收益合理等多重目标, 德国积极实施各类措施来促进低碳化发展^[1]。其中, 2009年6月, 德国环境部颁布了一份战略性文件, 说明了低碳经济的重要性, 并强调低碳技术是现在德国发展经济的稳定器, 也是未来德国振兴经济的关键所在^[2]。随着德国的世界最大太阳能船“星球太阳能号”、低碳时代可“变形”的多用途电动汽车、撒哈拉沙漠世界规模最大的太阳能电厂等大型项目的投产和完工, 德国在低碳经济的探索发展中, 已走在世界前列^[3], 这一切都离不开技术的支撑。

任力在研究了西方发达国家低碳经济政策后指出“未来的经济必定是低碳经济, 未来的竞争必定是基于低碳产品与技术的竞争^[4]”。上海重工业向郊区转移已成为未来产业布局调整的趋势, 具有卫星城性质的临港是上海调整产业结构, 实现优化升级的重要部署。要想实现临港的战略意义, 就必须走一条低碳经济发展之路。临港新城工业化痕迹几乎为零, 发展低碳经济不仅能使临港新城成为新兴战略性新兴产业的高地, 而且在区域发展模式研究、参与国际低碳发展的政治博弈中具有重要的示范作用。因此, 支撑低碳经济的技术成为当下临港发展的重要任务之一。

本文以德国慕尼黑市为案例, 介绍和总结未来50年内, 慕尼黑低碳城市发展的背景、方案和目标, 特别是具体分析了低碳城市中建筑的热能、电能如何在技术支持的情况下实现低碳化, 尝试为临港新城低碳技术发展提供模板, 成功打造临港新城低碳示范区。

2 德国慕尼黑城市低碳发展的背景、目标和方案

收稿日期: 2011-9-01;

基金项目: 上海市科技攻关项目(09DZ1200800); 全国优秀博士学位论文培育行动计划 (PY2011009)

作者简介: 辛晓睿(1988-), 女(满族), 甘肃武威人, 华东师范大学城市与区域经济系博士研究生, E-mail: inxr1988@163.com。

面对欧盟环境总署提出到本世纪中期,全球至少减少 50%的温室气体排放量,即人均排放量至少要低于 2 吨的目标^[5],慕尼黑 2008 年人均 CO₂ 消耗量 6.5 吨的现状必须要得以改善。现今,慕尼黑市大量的 CO₂ 是由基础设施产生,其中,建筑热能占 50%,而家庭、商业、服务和交通用电约 39%,因此要想实现慕尼黑城市低碳化,必须要对建筑等基础设施实施减少碳排放的措施。在此基础上,由德国伍珀塔尔气候、环境、资源研究所(Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy GmbH)和西门子公司,以 2008 年-2058 年的 50 年间为跨度,联合制定了慕尼黑低碳城市发展规划。

该规划制定了两种减排方案,分别称为“目标”和“桥梁”。“目标”提出到 2058 年实现近于零碳的理想。为达到理想状态,该方案对城市基础设施建设,市民生活习惯和未来科技作了积极假设,指出广泛、持续的应用高效措施,50 年后碳排放量可以被减少 90%,即一个中等城市年人均碳排放 750 千克。该方案中,能源效率及碳捕获和封存能力大幅提高。“桥梁”是较保守的减排研究方案,它对未来低碳发展的预期程度较“目标”方案更低,主要从市民习惯的交通和热、电需求出发,指出化石燃料将继续用来满足人们日益增长的电、热需求。尽管如此,“桥梁”方案也预测,因为碳捕获和封存技术的发展,未来用煤发电也会减少大量 CO₂ 排放。50 年后,慕尼黑年人均排放量大约 1.3 吨,已低于 2007 年气候变化第四次评估报告发表中的 2050 年人均 CO₂ 排放量 2 吨^[5]。

研究中两种方案无论积极或保守,都能证明到 2050 年,工业化国家温室气体在 1990 年的标准上减少 80%的目标是可行的。

尽管两种方案预期结果不同,但实现碳减排的指导原则是相同的:高效的能源装置;热力、电力和交通设备的整修要适应需求;对可再生能源和低碳能源大规模的转换;不期待所有能源需求都自给自足,慕尼黑将从市外进口能量,但要确保这些能量的生产方式对气候变化无害。

3 基于先进技术支持的慕尼黑低碳建筑发展规划

城市基础设施是 CO₂ 最主要的生产者,在基础设施上采用低碳减排的技术对减少 CO₂ 最有可能性。慕尼黑低碳城市发展规划主要涉及了基础设施中建筑热能和综合电能,因此,本文以慕尼黑建筑热能和建筑电能需求、供给为载体,研究德国低碳技术的发展。

3.1 房屋整修

慕尼黑政府十分重视整修房屋,借此减少建筑对热能需求。据测算,慕尼黑市近一半的 CO₂ 来自建筑热能。因此,通过房屋整修提高能效,特别是在被动式房屋标准(passive house standard)下执行整修,非常有利于减排。据“目标”和“桥梁”方案预测,2058 年,慕尼黑对建筑采暖的热能需求比现今至少低 80%^[5]。

“目标”和“桥梁”方案都基于两个模式的转变,到 2058 年,这些模式转变后能供应大量的零碳热能。第一个转变是能源的优化,这将使建筑从能源使用者转化为生产者。它假设建筑能满足房屋本身的大部分热能需求。通过建筑外部优化来改变能源的来源,使用太阳能、光电能甚至是微型热电循环系统,都能满足热能需求。在居民和公共机构房屋的整修中,假设被动式房屋的标准可以被实施到非常细微的环节。为确保未来 50 年所有的建筑都是高效的,由热量造成的整修幅度将要从每年 0.5%上升到 2%,这意味着许多建筑商被要求对现在的建筑整修 4 次。整修后建筑的采暖需求从现在年均 200 度/平方米减少到大约 25-35 度。对新建筑,采暖的需求可能会更低,因为大部分建筑是根据“加能”(plus energy)标准修建。整修措施实施到本世纪中期,慕尼黑居民住宅平均热需求将比现在减少 80%-90%。规划要求大部分建筑(85%的新建筑、80%的旧建筑)都要遵循严格的标准,只有小部分因为与建筑特殊的要求冲突(比如溜冰场)或违背历史保存的常规等原因不能满足。第二个转

变与采暖设施有关,低碳建筑中剩余的热需求将不再直接靠常规的采暖设备、化石燃料燃烧,而是通过地区内供热系统和可再生能源来满足。

满足被动式房屋标准的隔热设备、建筑整修和“加能”建筑等都要求额外的投入,规划通过经济效益计算,得出财政能付清该项支出。据经济效益评估显示,本世纪中,在低碳慕尼黑理念的引导下,居民将捐出大概 130 多亿欧元,这些投资有助于房屋提高能源利用效率的翻修,使建筑达到被动式房屋标准和新的“加能”建筑。与慕尼黑的人口相对应,这意味着每人每年 200 欧元的额外花费。这些额外的投入产生的效益是,到 2058 年,最终节省 100 亿度能源,而直接用户的热能花费是在 16 分每度(低价)到 26 分每度(高价)之间。基于上述标准,每年在建筑能源花费上节省的数额大约是 16 亿到 26 亿。这意味着每人节省大约 1200 到 2000 欧元。总之,节省的能源花费到 2058 年将超过 300 亿欧元。

在证明减少热能需求经济可行后,该规划又介绍了一些具体的技术。建筑隔热中,外部隔热是最重要的 CO₂ 减排手段。现在最普遍的隔热外墙是使用聚苯乙烯、聚亚安酯的光纤面板,但 30 厘米的厚度,面板又厚又重。规划指出真空隔热板(vacuum insulation panels, VIP)是更好的选择, VIP 可以定制、用嵌入系统安装在墙上,这会减少时间和人工花费。VIP 的每个面板都有可以阻止热传导的真空核,这是 VIP 能很好隔热的原因,3.5 厘米厚的 VIP 与厚重的 30 厘米的聚苯乙烯效果一样。微囊密封的潜热封存或分阶段改变材料 PCM(phase change materials)是另一个选择,PCM 主要以蜡的形式产生作用,比如把蜡吸收到石膏板或油漆里,蜡从液体到固体主要取决于温度,当温度升高,它会融化,吸收更多热量,到晚上,它凝固并释放出热量。因此,PCM 能调节昼夜室内温度,有效减少空调负担,甚至取代空调。

3.2 高效系统的开发与应用

慕尼黑市重视高效系统的开发和应用,以减少建筑对电能需求。2008 年,由家庭、商业、工业、贸易、服务和交通用电产生的 CO₂ 排放大约占整个慕尼黑市总排放的 39%。

“目标”方案中,假设未来建筑中电能会被更高效利用,工作和家庭电量消耗比现在低大约 40%。“桥梁”方案预测建筑节能不会特别显著,大部分节省的电能会被新增电器所抵消。因此,尽管利用效率提高,但每位居民的用电需求量保持不变。德国工业联合会最新研究也得出了相似结论,它假设到 2030 年,德国电量的消费会轻微减小到 2550 亿度(2004 年是 2670 亿度),用电量仅仅轻微减少的原因是有各种新电器进入家庭,然而,这些电器的能效与现在的技术水平接近。

节电和提高电器能效的可能性与出现多种用电方式的概率一样大。对于节电,下列措施最有效:优化建筑的管理系统和空调系统;使用更高效率的家用和办公电器;使用高效的照明系统。

规划指出充分使用建筑智能管理系统,一座大型建筑能节省 30%的电能。这种系统关键在于传感器的使用,由于传感器,电能只有在需要时才会被应用和消耗。办公室里,CO₂ 传感器会测出空气新鲜程度,并指示通风设备循环运转,控制需要的新鲜空气数量。房间恒温调节器允许每间办公室有不同的温度。通过合适的计划、综合的建筑设计和新技术,能耗可以明显减少,以便房屋尽可能少的采暖。通过使用高效能、运转时散热非常少的电气设备、服务器和灯来减少制冷的需求。这对于高效制冷而言,也非常有意义。在另外一些建筑中,房间通过水管来制冷。冰水在天花板上流动,随着水的冷却,同一栋建筑的温度都能轻易、有效的调节。通常,建筑顶层的地板是温暖的,底层的地板却很凉爽。这种情况下,用水冷却顶层的地板,水会变热,当它流回底层较凉的房间,会放出封存的热。这一系列独特的建筑管理系统操作着大量的参数,协调所有子系统,在未来肯定可行。

尽管提高能效的办法多种多样,但各类方法都受同一条件约束——一定要有利才会可行。因此,规划以两个具体案例来分析经济效益。建筑平均 50 年翻新一次,与电相关的部分使用周期是 10-20 年,随技术而定。因此,在这个时间段,新技术使用必须要获利,预测未来高效能设备的花费非常困难,所以规划中选取的案例都是基于当前市场可行的技术。

更高效的家用和办公电器中,该规划选取了私人家庭中的高效能冰箱,冰箱大约要消耗私人家庭中 10% 的电量,因此,冰箱使用高效能技术是合理的。一台没有冷藏室的 A++ (An EU Efficiency Class A++) 高效能冰箱每年大约耗电 80 度,有冷藏室的 A++ 级冰箱大约是 180 度。相比较,没有冷藏室的 A 级冰箱每年大约用电 160 度,有冷藏室的 A 级冰箱大约是 320 度。与 A 级电器相比,有冷藏室的 A++ 级高效能冰箱估计贵大约 250 欧元。A++ 级高效能电器使用寿命是 15 年,平均每年多花 26 欧元。按第一年电价计算,每年节省电费约 28 欧元。随着每年电费的涨价,A++ 级高效能冰箱的多余花费在使用寿命内就可以被抵消。

照明系统则选取了写字楼的高效系统。它包括很多组成,不仅是节能灯。当规划适当的照明系统时,首先决定亮度或者预期亮度,其次决定哪种灯能满足预期的亮度,最后必须把日光因素算进照明的概念中。对一间 60 平方米的办公室进行经济效益分析,办公室的照明主要是靠无反射的 12 个棱镜灯管,这些灯管被 T5 栅格灯所替代,这是一种有高效电子镇流器的荧光灯,能减少 75% 的电能消耗量。除外,传感器能感应日光,靠日光数量、房间使用时间段,一年能节省几百小时的用电时间。最初,投资在高效照明系统的额外花费已远远被抵消。关于节能的灯,除了发光二极管(LEDs),有机发光二极管技术(OLEDs)是另一种有希望的节电技术。OLEDs 包括特殊的有机薄膜,当电流很低时,它也能照明。这种技术的独特之处在于有机分子可以用在玻璃甚至柔韧的塑料表面,这使得 OLEDs 在极其扁平的光源区域,更加灵活和透明,并且, OLEDs 的能源利用效率很高。

3.3 热电联产生产

慕尼黑市通过热电联产生产,实现热能低碳供给。供给与需求相对应,到本世纪中期,如果被动式房屋标准的确在新建筑建设和旧建筑整修中盛行,慕尼黑建筑的热能需求能减少近 80%。同时,还假设热能需求量能以一种比现在更环保的方式更高效的减少。因此,没有供给方案建立在现今的“直接热供给”基础上,即居住空间内单独的气体和化石燃料采暖系统,它目前占慕尼黑空间热能供给的 77%。未来最重要的热能供给来自本地和该区域内高效的热电联产工厂。在“目标”“桥梁”两种方案中,地区热能的供给份额都将从现在的 20% 增长到 60%。大型传统的热电联产工厂和公共街区的热电工厂能源利用率高达 90%,这个效率与德国化石燃料现在平均能效水平 41% 相比很不寻常^[5]。

在城市中,更低一级地区与城市整体的热能网络中并没有连接,他们由低一级、分散的本地网络系统来供应,这些网络系统是由街区热电工厂燃烧高效的天然气和沼气形成,即所谓“微型热电联产(micro-CHP)”工厂。在有小型多户家庭的地区,甚至是单个家庭中,微型热电联产都可以通过天然气和沼气来高效发电、产热。

对于技术,专家提出了“低火用”的概念。一般而言,燃烧燃料达到几百摄氏度来获取提供 20 度室温的能量是极其低效的。现今,房屋内热水器中的热水通常保持 70 度左右。为补充隔热良好的被动式房屋剩余的热能需求,大约 30 度的低温就已足够。这需要用低温的来源就可以实现,比如工业废热、太阳热能工厂或地热。另一方面,传统的本地或地区热网不可能随着热能需求的减少而继续保持成本效应。事实上,对于供应商,管线和连接必须经济可行。未来,对于可支付的扩张和合算的低温网络的运转是有可能的。在有新建筑的地区管线可以直接铺设在建筑底部或房顶上,这排除了从街上每个单独的建筑上连接新管线的需求。地方或地区热能管道直接铺设在建筑底部,热能损耗比铺设在街道下面时更少,这种节

能在低温概念中是重要的。

3.4 多样发电方式的联动

慕尼黑市力图通过多样的发电方式联动,实现电能低碳供给。考虑到慕尼黑的电力供应主要由公用事业公司完成这一客观情况,慕尼黑市将市内的火力发电厂、市外的水力发电厂和核电厂进行联合,发挥每种发电的长处,进而实现电能低碳供给。

到本世纪中期,“目标”和“桥梁”方案预计的电能消费数量不同,但两者都假设了相同的模式转变。与现在相比,大型发电中心将生产更少的电能,它会以一种分散的方式增加产量和储量,结果,电网的要求改变了,即各个方向都要有不同的电流;电能不再主要靠化石燃料生产而是靠可再生能源;未来有一整套技术来共同发电,一方面,家庭住宅将通过微型 CHP 或燃料电池来高效供电,另一方面,其他分散的产能技术也会进行增补,比如光电能、风能、大型热电联产工厂燃烧的天然气的、地热能、生物能或固体生物质,因此需要一个所谓的智能电网或产能工厂来协调各种能量。各种高效工具都是这个网络的组成成分,比如“智能电表”。这种电表不仅能确保精确的耗电量账单,同样能集中控制重要的仪器,使其避开电能消耗的高峰,控制消费者的使用习惯。

现在,慕尼黑消耗的电能是一年 7.02 吨,在“目标”和“桥梁”方案中则依据不同的消费水平预计了 2058 年的详细情况。“目标”方案中,2058 年电能需求量年均不足 5 吨,其中,大约 3 吨由当地热电联产工厂、燃烧天然气和沼气的公共电站生产。小部分靠当地的可再生能源,比如光伏电厂来供应,其余的电能则靠进口不含碳的电能。“目标”方案假定要实现该目标,公共事业公司将主要投资大型工厂中可再生资源的的生产,这包括投资风能公园和太阳能热电厂,这在可再生能源生产的大型网络框架中有可能实现。另一方面,“桥梁”方案假设电能消耗将会超过 7 吨。本地区的发电量较低,大约是 40%,总体而言,它假设可再生能源的发电量与“目标”方案一致。但是,可再生能源的发电量并不能满足电能需求,它主要由化石燃料发电厂来解决。该研究假设到 2020 年,这种技术在市场上已成熟。

尽管“桥梁”方案假设电能消耗量比“目标”方案多,但 CO₂ 排放在该方案中也是大幅减少。“目标”方案中,到 2058 年,CO₂ 排放量与现在相比将减少 95%;“桥梁”方案中,减少 83%。“目标”方案最重要的行动是可再生能源生产的扩张,它大约能降低 48% 的排放量。其次的措施是提高电能的使用效率,这在能量供给的过程中大约减少了 36% 的 CO₂ 排放。“桥梁”方案中,可再生能源同样是最重要的措施,其次是使用有碳捕获和封存能力的化石燃料来发电,这大约减少了 24% 的排放,热电联产进一步发展能减少 16% 的 CO₂ 排放。

基于 2008 年德国环境总署引导方案,规划假设到 2020 年,市场上有可能提供价格合理的可再生能源生产的新技术,就可再生能源的技术而言,它有递减效应,特别是在减少花费方面。在技术方面,主要是智能电网和负荷管理。智能电网是使用比今天更成熟的方式来控制电能,它会将很多小型的可再生资源发电厂联系在一起,比如光电厂、风能场、生物能发电厂,以便它们能一起平衡波动和发电。在规定的时间内,当电能不足或出现过剩的现象,设备可以被自动打开或者关闭,大量的家电在智能电网负荷管理中意义重大。

4 对上海临港新城的启示

慕尼黑的低碳城市发展规划以建筑这种基础设施为载体,充分假设和考虑了未来 50 年内低碳技术对节能减排、实现低碳城市目标的作用。这对上海临港新城建设低碳城市最主要的启示是要加强基础设施建设中低碳技术的研究和应用。结合临港新城功能定位之一——打造生态宜居为特色的人文社区环境,管理机构要积极从低碳经济领先的国家引进人才、技术,考虑在临港新城开展低碳技术的科技攻关,向慕尼黑市学习,制定长远的低碳发展规划[4]。临港新城可以选择若干具体的社区、校区和园区开展低碳经济试点,吸引各类社会资本参与,

进行低碳技术研发,实现低碳技术产业化。

基础设施建设是城市发展低碳经济的重要组成部分,临港新城目前正在实施完善的基础设施体系建设,试图以此来加快城市功能塑造,以期不断增强基础设施对临港地区经济、社会发展的支撑及承载能力。这一现状使得低碳技术在临港大有作为,作为基础设施中 CO₂ 排放最多的建筑,更是低碳技术发挥的重要领域。对于减少建筑热能需求而言,一方面,按照被动式房屋标准和“加能”标准修建房屋的,使用良好的隔热技术;另一方面,临港结合优越的地理位置、完备的能源供给来促进可再生能源、清洁能源的高效应用,建设太阳能集中供暖、地源热泵等。对于实现热能的低碳供给,临港可以引进“低火用”概念,开发慕尼黑规划中的热电联产系统。作为新城,临港的优势是可以合理规划,在新建筑建设时就与地区热网联系,节约后期改建成本。在减少建筑电能需求方面,新城建筑修建中要积极应用高效的建筑管理系统、空调系统、高效的办公和家用电器、照明系统。对于实现电能的低碳供给,主要靠多样的发电方式,临港产业区“十二五”规划纲要中已明确提出要建立太阳能光伏发电系统、风力发电系统等,目前临港有热电、核电、风电等设备制造,但还可以在太阳能、潮汐能设备制造方面作进一步延伸。同时,热电联产是重要的发电方式,面对多样的电能来源,智能电网和负荷管理是临港发展低碳过程中亟待需要的技术,上海目前正大力发展智能电网,这对于支持临港建筑低碳电能供给意义重大。

事实上,正如德国慕尼黑低碳技术的研发和推广一样,低碳技术的前期资本投入远远小于未来电能、热能使用量减少所节约的成本,经济上的可行会推动低碳技术在临港的大力发展。总之,临港新城在建设过程中,面对生态宜居的要求,要争取做到加强可再生能源的利用、传统能源的清洁利用和能源的高效利用三个环节,在以建筑为主的基础设施建设中充分研究、推广和利用经济可行的低碳技术,鼓励开发商、投资者、市民等团体主动接受低碳技术,打造出一个成功的临港新城低碳示范区。

参考文献

- [1] 廖建凯. 德国的气候保护政策及其动因分析 [J]. 气候变化研究进展, 2010,6(6):468-472.
- [2] 徐琪. 德国发展低碳经济的经验 [J]. 世界农业, 2010,379(11):66-69.
- [3] 张庆阳. 德国低碳经济走在世界前列 [R]. 中国天气, <http://www.weather.com.cn/climate/qhbhyw/06/573469.shtml>.
- [4] 任力. 国外发展低碳经济的政策及启示 [J]. 发展研究, 2009,(2):23-29.
- [5] Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy GmbH, Siemens AG. Sustainable Urban Infrastructure [M]. Munich: Siemens AG Corporate Communications and Government Affairs Wittelsbacherplatz 2, 80333 München. 2008.3-2009.3.

A study on low-carbon architecture in Munich and its inspiration to Lingang

XIN Xiao-rui, ZENG Gang

(Center for Modern Chinese City Studies, East China Normal University, Shanghai 200062)

Abstract: Supported by the technology, Low carbon economy of Germany is the first class in the world. Every country has different ways and approaches in the process of developing low-carbon cities. The emission reduction aim and plan in Munich have been introduced, the method to realize low-carbonization in urban architectures analyzed in this article. Therefore, the author pointed out low-carbon technology was the main feature and focus in Munich. Based on the technology of low-carbon architecture in Munich, combining the functional orientation and social economic condition of Lingang, the author tried to offer some suggestions on making Lingang a low-carbon city.

Key words: low-carbon city; low-carbon architecture; Munich; Lingang