

中国被动式超低能耗建筑发展现状及展望

于震¹,刘伟²

(1. 中国建筑科学研究院有限公司,北京 100013;2. 南京工业大学,南京 211816)

Development status and prospects of passive low energy buildings in China

YU Zhen¹, LIU Wei²

(1. China Academy of Building Research Co., Ltd., Beijing 100013,China;

2. Nanjing Tech University, Nanjing 211816,China)

摘要:被动式超低能耗建筑是中国建筑行业向低碳和绿色发展转型的重要发展方向之一。综述了中国被动式超低能耗建筑的发展现状、未来发展机遇和挑战,介绍了被动式超低能耗建筑的发展历程和重点示范工程,国家和各省市的支持政策,以及国家和地方标准的编制、执行情况。最后对目前被动式超低能耗建筑发展中出现的技术、政策和经济问题进行讨论,并对被动式超低能耗建筑的未来发展趋势进行展望。

关键词:被动式超低能耗建筑;建筑节能;政策标准

Abstract: Passive low energy buildings are one of the important development directions for the transformation to low-carbon and green development of China's construction industry. The development status, future development opportunities and challenges of passive ultra-low energy buildings in China are summarized. The development history and key demonstration projects of passive low energy buildings, the support policies of the state, provinces and cities, and the preparation and implementation of national and local standards are introduced. Finally, the technical, policy and economic issues emerging in the development of passive low energy buildings are discussed and the future development is expected.

Key words: passive low energy building; building energy conservation; policy and standard

中图分类号:TU111.195 文献标志码:C

随着中国快速发展的城镇化进程和经济转型,建筑能耗在中国终端能源消耗占比不断提高。根据中国建筑节能协会在2015年发布的建筑能耗报告,建筑能耗8.57亿tce,占中国能源消耗的20%左右。此外,中国建筑还消耗了中国钢铁产量的50%,用水量的33%,以及水泥产量的70%^[1]。

中国被动式超低能耗建筑的发展受到德国被动房技术体系的启发和影响。被动房是德国被动房研究所提出并管理的一套比较完整的技术体系,该技术体系强调通过应用更好的围护结构保温、高性能门窗、高效热回收新风系统、高建筑气密性和无热桥设计建造,仅使用非常少的一次能源,实现更好的室内环境品质。德国被动房强调通过被动式建筑设计,而不是通过应用复杂的机电系统或可再生能源来实现建筑能耗的降低,这一理念符合一直以来被倡导的“被动优先,主动优化”的基本原则,在中国被政府和产业界广泛接受。首批被动式超低能耗建筑示范工程的成功实施,使得中国被动式超低能耗建筑技术体系快速发展,获得了广泛的政策支持,其市场潜力也得到了开发单位、设计单位、施工单位及相关产品制造企业的密切关注,在过去5年间,相关市场得到了快速的发展^[2]。

尽管市场蓬勃发展,政策大力支持,学术界和产业界对于被动式超低能耗建筑的争论却从未停

止。很多专家认为被动式超低能耗建筑过于强调高建筑气密性、机械通风、非常高的外墙保温性能,不适用于大型公共建筑或湿热地区的建筑。即使是被动式超低能耗建筑的支持者,对于一些关键指标取值、能耗计算的边界条件、能耗计算方法、关键节点做法等关键技术问题也存在分歧。

1 被动式超低能耗建筑发展历程

中国有据可查的第一个被动房是2010年上海世博会的汉堡馆,这座2094 m²的办公、公寓混合功能的被动房坐落在世博会的城市体验区。在当时,汉堡馆并没有因为采用了被动房技术体系得到行业的广泛关注。在展览结束后,汉堡馆被中国企业买下并移往他处。

2009年中国住建部科技发展促进中心和德国能源署签署了关于被动式建筑在中国发展的合作备忘录。秦皇岛“在水一方”项目和哈尔滨“溪树庭院”项目入选首批合作示范工程。2012年“在水一方”项目的被动式超低能耗示范楼成功进入市场,迅速得到消费者、产业界及政府的认可。“在水一方”项目在德国专家的帮助下,全面地展示了被动式超低能耗建筑的设计理念和集成,德国先进的节能技术、产品和施工工艺得到广泛的应用,项目验证了被动式超低能耗建筑在中国目前的房地产市

场环境中的技术经济可行性,为探索适宜我国国情的超低能耗建筑技术路线提供了很好的借鉴。

2014年,中国建筑科学研究院近零能耗示范楼建成并投入使用,这是国内首座明确以近零能耗为建设目标的示范建筑。该项目以有限的增量成本实现了能耗低于同类建筑30%的节能目标。示范项目在短时间内吸引了数千名业内人士的参观交流,有力地推动了被动式超低能耗建筑在中国的发展。

在2015到2017年间,北京、山东、河北、河南等省市均提出了建设数十万平方米甚至更多被动式超低能耗建筑的发展规划,中央和地方政府也支持了多个大型科研项目和设计标准的开展,产业协会和产业联盟纷纷成立,示范项目不断涌现,被动式超低能耗建筑步入快速发展时期。

2 相关支持政策

2.1 国家政策

2016年12月国务院颁布《“十三五”节能减排综合工作方案》,方案的规划目标是到2020年我国的一次能源消耗总量低于50亿tce。与2015年相比,人均一次能源消耗减少15%。方案提出,实施建筑节能先进标准领跑行动,开展超低能耗及近零能耗建筑建设试点工作,推广建筑屋顶分布式光伏发电。同年,国家发展和改革委员会发布了《城市适应气候变化行动方案》,文件要求各省积极发展被动式超低能耗绿色建筑,通过采用高效高性能外墙保温系统和门窗,提高建筑气密性。

2017年住房和城乡建设部颁布了《建筑节能与绿色建筑发展“十三五”专项规划》,规划要求积极开展近零能耗建筑建设示范,鼓励开展零能耗建筑建设试点。在全国不同气候区积极开展超低能耗建筑建设示范。到2020年,建设超低能耗、近零能耗建筑示范项目面积1000万m²以上。同年,住建部节能与科技司提出2017年的年度重点工作计划,计划包括超低能耗建筑示范,提高建筑节能标准,提升门窗性能,加强绿色建筑国际合作等工作内容。

2.2 省级政策

为响应国家部委政策的要求,许多省市颁布了被动式超低能耗建筑的鼓励政策。

北京市在《北京市推动超低能耗建筑发展行动计划(2016—2018年)》中提出,3年内建设不少于30万m²的超低能耗示范建筑,2018年前完成北京市超低能耗居住建筑、公共建筑、农宅的设计导则或标准,完成相关材料应用技术标准和施工技术规程。对被动式超低能耗建筑提供政府补贴:第一年资金奖励标准为1000元/m²,单个项目不超过3000万元;第二年资金奖励标准为800元/m²,单个项目不

超过2500万元;第三年资金奖励标准为600元/m²,且单个项目不超过2000万元。

河北省是较早推动超低能耗建筑发展的省份之一,《石家庄市建筑节能专项资金管理办法》补贴政策:2017年建成的超低能耗示范建筑项目,每平方米补贴300元,单个项目不超过500万元;2018—2019年建成的,每平方米补贴200元,单个项目不超过300万元;2020年建成的,每平方米补贴100元,单个项目不超过200万元。定州市《提高住宅建筑节能标准,发展被动式超低能耗绿色建筑的实施方案(试行)》奖励机制:对达到被动式超低能耗绿色建筑标准的给予20元/m²的奖励,奖励总额不超过100万元。

山东省在《山东省省级建筑节能与绿色建筑发展专项资金管理办法》中提出,按照被动式超低能耗绿色建筑示范的增量成本(与新建节能建筑相比)的一定比例给予资金奖励。青岛市发布了《组织申报被动式建筑奖励资金》的通知,对于被动式建筑示范工程,给予200元/m²的奖励,单个项目300万元封顶。通过示范项目经验形成本市被动式建筑工程建设标准或适用性技术研究等技术成果的,给予50万元的额外奖励。

除了北京、河北和山东外,江苏、江西、河南等省份均出台相关政策鼓励超低能耗建筑发展。多数专家学者认为超低能耗建筑更适合严寒寒冷地区,因此华北各省对超低能耗建筑的推广更为积极,但一些南方省份也在积极探索研究适用于当地气候的被动式超低能耗建筑。

3 相关标准和规范

3.1 国家标准

目前国家层面的近零能耗建筑技术导则为住房和城乡建设部于2015年11月颁布实施的《被动式超低能耗绿色建筑技术导则(试行)(居住建筑)》^[3](以下简称《导则》)。《导则》借鉴了国外被动房和近零能耗建筑的经验和我国已有工程实践,明确了我国被动式超低能耗建筑的定义、不同气候区技术指标及设计、施工、运行和评价技术要点,为全国被动式超低能耗建筑的建设提供指导。

继《导则》颁布之后,国家标准《近零能耗建筑技术标准》也已获批编制,由中国建筑科学研究院会同河北省建筑科学研究院主编的国家标准《近零能耗建筑技术标准》是开展建筑节能标准国际对标研究的需要,在编制过程中综合考虑节能标准、材料标准、设备标准对标准的支撑作用,将为住建部建筑节能未来发展规划提供技术依据,国家标准计划于2018年完成征求意见。

3.2 省级标准

各省参考《导则》制定了各自的省级标准。2015年5月河北省率先颁布了地方标准河北省《被动式低能耗居住建筑节能设计标准》，标准参考了德国被动房的设计理念，对房屋的实际能源消耗进行了规定，并提出了一次能源和一次能源系数概念，提出了建筑负荷完整的计算方法，给出了河北省11个城市完整的气象参数计算数据库。除设计标准外，河北省还颁布了超低能耗建筑的施工规范、验收标准、技术标准图集。河北省超低能耗公共建筑的技术标准也在筹划编制中。

2016年12月，山东省发布《被动式超低能耗居住建筑节能设计标准》，该标准针对山东省的实际情况进行了适宜性分析，在标准中明确规定了山东17个地市的年供冷需求和年供暖需求指标及能耗指标；明确规定了被动式超低能耗居住建筑室内环境参数：PM_{2.5}浓度 $\leq 35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，这是PM_{2.5}浓度首次出现在山东省建筑节能标准中。

自2016年起，北京市开始超低能耗建筑标准的编制，北京市将满足关键技术参数指标作为获取政府补贴的条件，该标准对不同层数的居住建筑给出不同的指标；对公共租赁用房和农村住宅单独给出指标；除供冷需求、供暖需求和一次能源消耗限值外，给出建筑总一次能源消耗量指标并给出碳排放强度建议指标。北京市《超低能耗居住建筑设计标准》计划于2018年完成征求意见。

除了北京、河北、山东以外，其他省份也开始编制被动式超低能耗建筑的相关标准，如：河南省《被动式超低能耗居住建筑节能设计标准》、黑龙江省《被动式超低能耗居住建筑节能设计标准》等。

4 中国被动式超低能耗建筑评价标识

为进一步促进我国被动式超低能耗建筑发展，切实推动被动式超低能耗建筑在我国的市场规范化和技术标准，发挥标识的市场激励作用，中国建筑节能协会开展了中国被动式超低能耗建筑的评价工作，对达到超低能耗建筑要求的项目授予标识。评价标识工作包括设计和施工2部分。设计部分评价标识在施工图设计文件审查通过后进行；施工部分评价标识在建筑竣工验收前进行。建筑竣工验收一年后，可对超低能耗建筑进行后评估。

申报标识的建筑需依据相关标准，评定其能耗水平并进行相关技术评价，居住建筑需满足《导则》的相关要求，公共建筑能耗水平应比现行国家标准《公共建筑节能设计标准》中的能耗水平低60%。

评价标识的申请由业主单位、房地产开发单位提出，鼓励设计单位、施工单位和物业管理等相关单位共同参与申请。评价标识开展的2年中，共34

个项目被授予标识。2016年第一批授予被动式超低能耗绿色建筑标识的项目共19个，包括办公建筑、居住建筑、学校建筑、展览中心、康复中心等，首批标识评价项目分布于北京、天津、山东、新疆、西藏、吉林、辽宁、河北、江苏、福建等多个地区。2017年第二批授予被动式超低能耗绿色建筑标识的项目共15个，包括办公建筑、居住建筑、学校建筑、展示中心等，标识评价项目分布于北京、湖南、内蒙古、河北、山东、山西、天津等多个地区。其中代表性项目有青岛中德生态园被动房技术体验中心、山东城建学院实验实训中心、科净源北京K20园区3号、11号、13号楼、高碑店列车新城一期、首开太原花溪龙苑西28号楼等。

5 关键技术问题讨论

通过对示范项目、相关政策、标准和评价标识的介绍，可以看出我国的被动式超低能耗建筑进入了快速发展阶段。虽然如许多研究人员提出的那样，被动房或被动式超低能耗建筑是实现近零能耗建筑的最佳途径之一^[4-6]，但学术界和产业界在很多方面没有达成共识：一些学者认为应通过研究适应当地气候和建筑类型的技术来推动被动式超低能耗建筑概念的发展；还有些学者坚持认为，德国的被动房屋概念是普适的，能够适应我国任何地区的建筑。下面就一些重要且经常提到的问题进行讨论。

5.1 自然通风和机械通风

对被动式超低能耗建筑的争论之一是它总是要求建筑设置机械通风系统，并要求具有高效的热回收系统。在一些情况下，由于通风机的能耗占比过大，导致与普通建筑相比，被动房甚至能耗更高。具有热回收的机械通风系统可能不适用于较为温暖的气候条件。一些研究表明，通风管道和过滤器如不按要求进行清洁，还会影响室内环境健康。机械通风和自然通风应为互补关系，在严寒的冬季和非常炎热潮湿的夏季，打开机械通风系统可以降低供暖和制冷能耗，又可以保持更好的室内环境。有效控制机械通风与自然通风之间的智能切换对于被动式超低能耗建筑来说非常重要。通风管道和过滤器的清洗维护不仅仅是被动式超低能耗建筑的问题，通风系统生产商和安装人员必须认真考虑系统后期维护清洗方便性，一些供应商使用智能控制系统结合远程提醒服务和后续清洗服务，解决新风系统的售后服务问题。

5.2 气密性

被动式超低能耗建筑比普通建筑有更好的建筑气密性，以减少空气渗透造成的供暖能耗。一些学者的研究表明，在某些气候条件下，更好的气密

性可能会导致房屋尘螨和霉菌的增加,增加出现哮喘和过敏几率^[7,8]。随着气密性的提高,机械通风将更频繁地使用,这也会导致更多的风机能耗^[9-11]。建筑物更好的气密性、更低的空气交换率会导致更糟的室内环境。被动式超低能耗建筑目前根据人员需要决定通风量,没有充分考虑室内VOC稀释和其他因素的通风要求。在非常寒冷、炎热或受污染的室外条件下,更好的气密性可确保通风空气得到妥善处理,从而保持更好的室内空气质量。当室外环境适宜时,应鼓励开窗自然通风。存在一些争议是因为一些学者在研究中认为建筑具有更好的气密性意味着窗户不能打开。

5.3 保温要求

在我国被动式房屋一般建议保温厚度为150 mm至300 mm,根据我国目前的面积计算方法,用于建筑外保温面积被计为建筑面积,对于典型的高层住宅建筑,被动式超低能耗建筑所需的额外保温占用的面积约占计算建筑面积的2%~4%。一些研究质疑被动式超低能耗建筑需要更厚的保温的必要性,另外还有一些专家担心在建筑物外墙上使用较厚保温材料的安全性。在住建部《导则》中提出了性能化设计方法,通过技术经济分析,确定在给气候下特定建筑物的最佳保温厚度。在某些情况下,建筑保温对建筑能耗的影响并不是很大,此时应该加强其他方面的性能参数,而不是一味地增加保温厚度。由于性能化设计往往需要在方案设计阶段占用更长的时间,受到时间、设计团队能力的限制,许多被动式超低能耗建筑项目仍简单选择标准推荐的保温厚度。

5.4 高增量成本

与普通建筑相比,被动式超低能耗建筑的增量成本约为500~1 000元/m²。增量成本占总建筑成本的20%~40%。被动式超低能耗建筑对关键部件的性能要求远高于当前标准值,比如外窗的U值为0.8~1.0 W/m²K或更低,新风热回收效率高于75%,这些较高的性能指标限制了提供商的数量,进而导致高增量成本。然而,随着规模的增加,成本必然会逐渐下降。

6 总结与展望

被动式超低能耗建筑技术发展是中德合作的重要成果,近零能耗建筑是未来发展的方向。

被动式超低能耗建筑通过因地制宜地采用高性能保温隔热非透明围护结构,高保温气密性外窗,无热桥、高气密性、高效热回收新风系统,充分利用可再生能源等技术手段,可以大幅降低建筑能耗。

中国已经借鉴德国经验,逐步建立了中国被动

式超低能耗建筑的标准、图集、计算工具、认证体系、推广政策、施工工法,并开展了大量的示范项目建设。

被动式超低能耗建筑行业的健康发展在未来还存在许多挑战。比如:当前建筑面积计算规则对提高外围护结构保温隔热性能不利;目前被动式超低能耗建筑的增量成本仍然偏高,增量成本的回收期偏长;在夏热冬暖气候区和夏热冬冷气候区的被动式超低能耗建筑策略不够清晰,工程实践经验较少;对大型公共建筑和装配式建筑的被动式超低能耗建筑关键技术问题的研究和实践不足等。

随着被动式超低能耗建筑的快速发展,学术界和产业界需要迅速采取行动,开展基础研究和工程应用研究,总结示范工程经验,发展适合中国的技术体系,支持被动低能耗建筑的发展,引领建筑节能的未来发展方向。D

参考文献:

- [1] 中国建筑节能协会. 中国建筑能耗研究报告(2016) [R]. 北京:中国建筑节能协会,2016.
- [2] 住房和城乡建设部科技与产业化发展中心,被动式低能耗建筑产业创新战略联盟. 中国被动式低能耗建筑年度发展研究报告(2017)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2017.
- [3] 被动式超低能耗绿色建筑技术导则(试行)(居住建筑) [S]. 2015.
- [4] Dan D, Tanasa C, Stoian V, et al. Passive house design: An efficient solution for residential buildings in Romania [J]. Energy for Sustainable Development, 2016(32):99-109.
- [5] Figueiredo António, Kämpf Jérôme, Vicente Romeu. Passive house optimization for Portugal: Overheating evaluation and energy performance [J]. Energy and Buildings, 2016(118):181-196.
- [6] Schnieders Jürgen, Feist Wolfgang, Rongen Ludwig. Passive Houses for different climate zones [J]. Energy and Buildings, 2015(105):71-87.
- [7] Müller L, Berker T. Passive House at the crossroads: The past and the present of a voluntary standard that managed to bridge the energy efficiency gap [J]. Energy Policy, 2013(60):586-593.
- [8] Davies M, Oreszczyn T. The unintended consequences of decarbonising the built environment: A UK case study [J]. Energy and Buildings, 2012(46):80-85.
- [9] 张孝鼎,贡太瑞,郭清,等. 气密性对住宅能耗影响的研究[J]. 建筑节能,2016(4):61-64.
- [10] 彭琛,燕达,周欣. 建筑气密性对供暖能耗的影响. 暖通空调[J]. 2010(9):107-111.
- [11] 丰晓航,燕达,彭琛,等. 建筑气密性对住宅能耗影响的分析[J]. 暖通空调,2014(2):5-14.

(本栏责任编辑 徐文红)