



被动式居住建筑在中国 推广的可行性研究

**Feasibility Study on Promoting Passive Residential
Housing in China**

住房和城乡建设部科技发展促进中心
2013.12.20

项目信息

项目资助号

Grant Number :G-121--16996

项目期

Grant period Twelve months, from October 1, 2012 to September 30, 2013

所属领域:

Sector:

项目概述:基于中国第一个被动式房屋,位于河北省在秦皇岛“水一方”项目的成果,项目组完成了《被动式居住建筑在中国推广的可行性研究》报告

Project Description

Base on successful results of the pilot of “Zaishuiyifang” in Qinhuangdao in Hebei province, the first passive housing in China, the project has been researched the feasibility of passive residential housing in China

项目成员: 张小玲 彭梦月 马伊硕 牛犇 罗松

Project team: Zhang Xiaoling, Peng Menyue, Ma Yishuo,

关键词:

Key Word: Passive Residential Housing, Feasibility Study, China

本报告由能源基金会资助。

报告内容不代表能源基金会观点。

This report is funded by Energy Foundation.

It does not represent the views of Energy Foundation.

摘要

建筑节能对节约能源和国家的可持续展起到至关重要的作用，是实现国家能源安全的重要组成部份之一。国际上建筑节能技术进步非常快，已经从低能耗建筑向被动式建筑、零能耗建筑、到产能建筑上发展。提高建筑性能，使建筑本身对能耗的需求降到最低，并充分利用可再生能源，从而摆脱对传统化石能源的依赖已经成为德国、瑞典、奥地利等建筑节能领先国家的节能减排重要手段。

自 2009 年起，在部建筑节能与科技司的指导下，中国住房和城乡建设部科技与产业化促进中心与德国能源署（dena）在中国推广建设“被动式低能耗建筑”。2011 年 6 月，中国住房和城乡建设部和德国交通、建设和城市发展部签署了《关于建筑节能与低碳生态城市建设技术合作谅解备忘录》，进一步明确了发展被动式低能耗建筑以最大限度地降低建筑用能需求的合作重点。在中德双方技术人员的紧密合作下，从人员培训、方案设计、材料产品选择、施工工法到验收检测全方位地探索适应中国当地条件下的建造被动式房屋的解决方案。

秦皇岛五兴房地产有限公司开发的秦皇岛“在水一方”项目（一栋 18 层住宅楼，建筑面积 6467 平方米）。该项目在了中德双方的共同努力下，通过了相关测试，监测结果表明，达到“被动式低能耗房屋”的各项预期目标。

实践证明，在中国现有条件下推广被动式低能耗建筑，居住环境改善是明显的，建筑能耗降低是显著的，技术上是可行的，经济上是可承受的。

秦皇岛被动式房屋示范工程的实施取得了显著的节能效果、环境效益和社会效益，为我国下一步制订更高的建筑节能标准摸索了技术路线，为我国建筑节能产业升级换代提出了更高的要求。

1 在中国推动被动式房屋的重要意义

在中国大力发展被动式低能耗房屋对保证能源安全、应对气候变化和资源保护，以及能源产业结构的调整具有重要意义。

1.1 发展被动式低能耗房屋是保障我国能源安全的重要手段

将北方采暖地区新建居住建筑建成被动式房屋，可以在 2050 年时节省 32 亿吨标煤，并将每年的采暖能耗增量控制在 120 万吨标煤以内。

将北方采暖地区既有城镇居住建筑改造为被动式房屋，则到 2050 年这年采暖能耗可由现在的 2 亿吨标煤降低至 1800 万吨标煤。

1.2 发展被动式低能耗房屋有助于缓解我国大气污染问题

以北方居住建筑采暖为例，如果未来的新建房屋都按照被动式房屋标准建设，相比于执行 65%节能标准，到 2050 年将累计减排 89 亿吨 CO₂；如果现有的 81 亿平方米既有建筑全面改造成被动式房屋，每年的改造量不少于 2.1 亿平方米，那么到 2050 年改造完成时，将累计减排 98 亿吨 CO₂，并可将这部分的 CO₂排放量由现在的年排放 5 亿吨降低至 5000 万吨。

被动式房屋可以有效地缓解室内 PM2.5 造成的污染，可以在室外重度 PM2.5 污染条件下，使室内空气 PM2.5 达到可接受水平。

1.3 发展被动式低能耗房屋可为夏热冬冷地区提供舒适的居住条件在这一地区建造被动式房屋，或将现有房屋改造成被动式房屋，可以妥善地解决以上一系列问题

1.4 发展被动式低能耗房屋可显著提高室内舒适度水平，并延长房屋的使用寿命。

2 项目组提出进一步推广应用被动式低能耗房屋的建议：

2.1 加强被动式低能耗房屋的技术研发。围绕被动式低能耗房屋的特殊技术需求，要研发拥有自主知识产权的新技术、新产品、新材料和新工艺，

2.2 扩大被动式低能耗房屋的示范规模。在不同气候区选取包括住宅、中小学校、办公楼等不同类型的房屋开展示范，选取积极性高、保障力强的城市开展区域成规模的被动式低能耗房屋示范，及时总结示范经验并在全国扩大推广。

2.3 引导相关材料产品行业的发展，促进建筑节能材料与产品更新换代

通过被动式房屋的推广形成一定的市场规模，鼓励有积极性的企业开展研发与示范，引导国内相关产品升级换代，带动建筑节能材料与产品市场的发展。

2.4 强化能力建设

编写被动式低能耗房屋培训的系统性教材，设计培训课程，开展针对设计、施工和监理、检测等

2.5. 研究推动被动式低能耗房屋发展的激励政策。

与财政主管部门协调，争取出台鼓励采用被动式低能耗房屋的财政激励政策，研究关于税收、土地、规划、容积率等方面的激励政策建议。鼓励有积极性的地方率先出台激励政策，鼓励更多的开发商建造被动式低能耗房屋。技术人员的系统培训。

2.6 建立完善被动式低能耗房屋的技术标准体系

尽快完成河北省被动式低能耗居住建筑标准、标准图与施工工法，并以此为基础探索研究建立国家层面的标准、标准图和施工工法。

3 项目组关于政策方面的建议

3.1 严禁在西藏、青海地区推广使用集中供暖

3.2 严禁限制在淮河以南地区推广使用集中供暖

3.3 提高既有建筑节能改造标准

我国正在逐步对居住建筑进行节能改造。目前的节能改造目标是按现行国家的节能标准进行的。德国专家提醒我们，不要走他们进行二次节能改造的老路，应一步改造到位。建议提高既有建筑节能改造标准，从现在的节能 65%提高到

3.4 严格限制各新建供暖设施

为了满足新建建筑的需求，各地有大量基金投入到供暖设施的建设。建议严格限制各地的新建供暖设施，将投入到供暖设施的基金转入到支持推广被动式房屋领域。

3.5 对建造被动式房屋给予政策支持

各地对被动式房屋建设应给给予政策支持。如对开发商提供容积率的计算以结构墙为准或提高容积率支持政策；对被动式房屋的购房人提供降低首付、低息贷款等等。

Summary

Building energy efficiency is critical to national energy conservation and sustainable development, and is an important part of national strategy on energy security. Building energy efficient technologies have developed to a higher level in developed countries with passive house, zero-energy building and even energy plus building are constructed in succession. The practice of constructing passive house which features maximum of reduction of heating (cooling) demand of buildings through improvement of thermal properties of building envelope and full use of renewable energy has become one of key energy saving measures of many countries to completely get rid of reliance on fossil fuel, such as Germany, Sweden, Austria.

Since 2009, Center of Science and Technology of Construction (CSTC) of Ministry of Housing and Urban-Rural Development (MOHURD) and German Energy Agency (dena) has been in cooperation to demonstrate and promote “Low energy building and passive house adaptable to Chinese conditions based on European experience” under sponsorship and guidance of Department of Building Energy Efficiency, Science & Technology of MOHURD as well as German Ministry of Transportation, Construction and Urban Development. This cooperation on promoting passive house in China to reduce energy demand to a maximum level was further emphasized in MOU on Technical Cooperation in Building Energy Efficiency and Low-Carbon Eco-City Development which was signed between MOHURD and German Federal Ministry of transportation, Construction and Urban Development in June 2011. Therefore, both agencies have been exploring the solution to Chinese passive house and low energy building in the aspects of design improvement, selection of energy efficient materials and products, construction quality control and supervision as well as acceptance of building.

The first pilot project of passive house is C15# in Zaishuiyifang Residential Compound which was developed by WuXing Real Estate Co.,Ltd. in Qinhuangdao. This building is 18 floors with a total floor area of 6476m². With joint efforts in the

past three years, this project was completed and tested in 2013 with all the measurement and monitoring results complying with planned requirements and objectives of passive house.

This practice shows that construction and promotion of passive house in China is technically feasible, environmental friendly, healthy and cost-effective. The building achieves huge energy savings without compromising comfort, but rather increasing it.

The pilot project in Qinhuangdao has achieved remarkable energy, environmental and social benefits. It not only lays a technical foundation for further improvement of national building energy efficient standards, but also pushes the upgrading of the building industry.

1. Purpose of promoting low energy building and passive house in China

It is crucial to national energy security, mitigation and adaption of climate change, resources protection and adjustment of energy industry structure.

1.1 To secure national safety

If new buildings in heated area of North China were fully constructed into passive house, a total of 3.2 billion tons of standard coal equivalent would be saved until 2050 with newly increased coal for heating per year is no more than 1.2 million toes.

If the existing buildings in in heated area of North China were renovated into passive house, energy consumption for heating per year would be decreased from 200 million toes now to 18 million toes in 2050.

1.2 To relieve the serious air pollution

Take residential buildings in heated area of North China as an example, if new buildings in future were fully constructed into passive house, a total emission of

8.9 billion tons of CO₂ would be reduced until 2050 comparing with energy efficient buildings which are constructed according to national 65% energy saving standard. If the 8.1 billion m² of existing buildings were fully renovated into passive house with renovation area was no less than 210 million m² per year, a total emission of 9.8 billion tons of CO₂ emission would be reduced until 2050. At the same time, yearly emission of 500 million tons of CO₂ would be decreased to 50 million tons per year from now on.

Passive house can effectively relieve air pollution caused by PM_{2.5} by decreasing indoor PM 2.5 content to a proper level through mechanical ventilation system with high-level filters.

1.3 To improve living comfort for habitants in the climate zone featuring cold in winter and hot in summer

Construction of passive house or renovation of existing buildings into passive house or low energy buildings in this region will effectively solve a serious of problems of buildings in this area, such as being cold in the room in winter without heating, moisture and mold within building and high energy demand for cooling in summer.

1.4 To remarkably improve indoor thermal comfort and prolong the life expectance of the buildings

2 . Suggestions on further promotion of low energy building and passive in China

2.1 To strengthen the techniques research and development of the Passive House.

According to the special technical requirements of Passive House, we should research and develop the technology to have our independent intellectual property rights of the new technology, new products, new materials and new skills.

2.2 To expanding the Passive House demonstration scale.

Passive House demonstration should be practiced for different types of buildings like residential building, schools, commercial and public buildings in different climate zones.

2.3 To guide the development of related building materials industry, promote the construction of energy-saving materials and products update.

Develop a huge market of housing construction by extending the Passive House program. Encourage the enterprises that have interest in the industry to carry out research and demonstration, guide the domestic related product upgrading, and promote energy-saving building materials and product market development.

2.4 To Strengthen capacity building

To develop training materials of Passive House, design the training courses, launch the training programs for designer, construction workers, supervisor, test staff and technicians.

2.5 To establish the perfect technical standard system of the Passive House.

Provincial standards of the Passive House in different climate zones in China regarding design concepts, design drawings and construction techniques should be developed, and then the national standards of passive house should be followed in a short time.

3. Policy Suggestions from Qinghuangdao Project team.

3.1 To avoid using the use of central heating in Tibet, Qinghai area.

3.2 To limit the use of central heating in the area located the south of Huaihe River.

3.3 To improve the requirements of EE renovation of the existing building.

China is gradually working on the EE renovation of residential building. Currently, energy saving target is carried out based on the current national energy saving standard.

German experts remind us that China should not repeat the history to make energy-saving renovation in two times, instead should finish renovation in one

time. The experts suggest that China should improve the standard of EE renovation of the existing building from current standard to the Passive House standard.

3.4 Strictly restrict construction of new fossil-fuel fired heating system.

In order to meet the needs of all new buildings, people put a large number of funds into the construction of heating facilities.

We suggested that the government strictly restricts new heating infrastructure construction and put the money into developing the Passive House.

3.5 Support the Passive House development with development of incentive policy

Coordinate with finance department effectively to get more fiscal incentives on the Passive House program. Study incentive policies about the tax, land, planning, floor area ratio and other policy.

Encourage the governments and developers to construct more Passive House.

Government at different levels should give policy support to the Passive House developers. For example, when the government calculates the floor area ratio, the building thermal envelop should not be taken into consideration or the floor area ratio should be increased for the project. The buyers' down payment and interests should be also considered to reduce.

目 录

一、引言.....	13
二、项目概况.....	13
(一) “被动式低能耗房屋”的定义与概念	13
(二) “被动式低能耗房屋”的指标	14
(三) 各国情况与趋势.....	16
1. 欧盟	16
2. 德国	16
3. 丹麦	17
4. 美国	18
(四) 中国现有建筑采暖能耗与德国被动式低能耗房屋的比较	18
(五) 中德被动式低能耗房屋示范合作项目	19
三、秦皇岛示范工程.....	20
(一) 工程概况与项目目标.....	20
(二) 关键技术的应用	21
1. 无热桥的高效外保温系统	21
2. 采用双 Low-e 高性能保温隔热外窗	22
3. 高效热回收新风系统	22
4. 房屋良好气密性	22
5. 防潮防水技术	22
6. 充分利用太阳能和其它可再生能源	22

7. 保障房屋耐久性的材料与技术	23
8. 高厚度外墙外保温防火技术	23
9. 智能化控制	23
10. 噪声防护	23
(三) 施工与质量控制	24
1. 外墙	24
2. 地下室外墙和散水	24
3. 屋面和女儿墙	25
4. 首层地面与非采暖地下室顶板	26
5. 楼板	26
6. 分户墙	27
7. 不采暖楼梯间与室内隔墙	27
8. 厨房、卫生间排风道保温	27
9. 外窗的保温防水系统	28
10. 隔热桥的构造	29
11. 气密性措施	30
12. 隔音措施	32
13. 新风、供暖和制冷	33
(四) 示范工程的成本分析	41
(五) 能耗和室内环境的监测分析	42
1. 气密性测试结果	42
2. 室内环境测试结果	42

3. 能耗测试结果	44
(六) 示范工程实施中存在的主要问题.....	47
1. 缺乏建造被动式房屋的关键技术和高端产品.....	47
2. 被动式房屋的设计、施工和检测力量比较薄弱.....	48
(七) 取得的经验	48
1. 有领导的高度重视	48
2. 有科技司的支持	48
3. 有中德双方的紧密而良好的合作.....	49
4. 有开发商超强的执行能力	49
四、发展被动式低能耗房屋的重要意义.....	49
(一) 发展被动式低能耗房屋是保障我国能源安全的重要手段	50
(二) 发展被动式低能耗房屋有助于缓解我国大气污染问题	52
(三) 发展被动式低能耗房屋可为夏热冬冷地区提供舒适的居住条件	53
(四) 发展被动式低能耗房屋可带动建筑节能产业升级和转型	54
1. 传热系数 $K < 1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ 的外窗	54
2. 带有高性能热回收装置的新风系统.....	55
3. 高性能门窗密封材料	55
4. 防水隔汽膜和防水透汽膜	55
5. 性能优良的外墙外保温系统	55
6. 窗台护板和女儿墙扣板	55

7. 生产高性能材料的原料工业	56
（五）发展被动式低能耗房屋可显著提高室内舒适度水平，并 延长房屋的使用寿命	56
五、关于下一步推广应用被动式低能耗房屋的建议	56
（一）关于下一步推广应用被动式低能耗房屋的建议	56
1. 加强被动式低能耗房屋的技术研发	56
2. 扩大被动式低能耗房屋的示范规模	57
3. 引导相关材料产品行业的发展，促进建筑节能材料与产 品更新换代	57
4. 强化能力建设	57
5. 研究推动被动式低能耗房屋发展的激励政策	57
6. 建立完善被动式低能耗房屋的技术标准体系	57
（二）关于政策方面的建议	57
1. 严禁在西藏、青海地区推广使用集中供暖	57
2. 严格限制在淮河以南地区推广使用集中供暖	58
3. 提高既有建筑节能改造标准	58
4. 严格限制各新建供暖设施	58
5. 对建造被动式房屋给予政策支持	58

一、引言

建筑节能对节约能源和国家的可持续发展起到至关重要的作用，是实现国家能源安全的重要组成部份之一。国际上建筑节能技术进步非常快，已经从低能耗建筑向被动式建筑、零能耗建筑、到产能建筑上发展。提高建筑性能，使建筑本身对能耗的需求降到最低，并充分利用可再生能源，从而摆脱对传统化石能源的依赖已经成为德国、瑞典、奥地利等建筑节能领先国家的节能减排重要手段。

自 2009 年起，在部建筑节能与科技司的指导下，住房和城乡建设部科技与产业化促进中心与德国能源署（dena）在中国推广建设“被动式低能耗建筑”。2011 年 6 月，中国住房和城乡建设部和德国交通、建设和城市发展部签署了《关于建筑节能与低碳生态城市建设技术合作谅解备忘录》，进一步明确了发展被动式低能耗建筑以最大限度地降低建筑用能需求的合作重点。在中德双方技术人员的紧密合作下，从人员培训、方案设计、材料产品选择、施工工法到验收检测全方位地探索适应中国当地条件下的建造被动式房屋的解决方案。

秦皇岛五兴房地产有限公司在“在水一方”住宅项目是列入 2011 年部科技合作计划中的首批“中德合作被动式超低能耗示范项目”。该项目在了中德双方的共同努力下，通过了相关测试，监测结果表明，达到“被动式低能耗房屋”的各项预期目标。

实践证明，在中国现有条件下推广被动式低能耗建筑，居住环境改善是明显的，建筑能耗降低是显著的，技术上是可行的，经济上是可承受的。

二、项目概况

（一）“被动式低能耗房屋”的定义与概念

被动式房屋指采用各种节能技术构造最佳的建筑围护结构和室内环境，最大限度地提高建筑保温隔热性能和气密性，使建筑物对采暖和制冷需求降到最低。在此基础上，通过各种被动式建筑手段，如自然通风、自然采光、太阳能辐射和室内非供暖热源得热等来实现室内舒适的热湿环境和采光环境，最大限度降低对主动式机械采暖和制冷系统的依赖或完全取消这类设施。

早在上世纪八十年代初，瑞典隆德大学 Bo Adamson 教授和德国达姆施塔房屋与环境研究所 Wolfgang Feist 博士提出了一种新的理念：要在不设传统采暖设施而仅依靠太阳辐射、人体放热、室内灯光、电器散热等自然得热方式的条件下，建造冬季室内温度能达到 20℃ 以上，具有必要舒适度的房屋。他们将这种房屋称为被动式房屋。

（二）“被动式低能耗房屋”的指标

被动式低能耗房屋基本要求是要满足“采暖能量来自于自身”要求。其性能指标在不同的国家和地区需要根据自己的气候条件进行调整。

瑞典于 2012 年 9 月 27 日颁布了《瑞典零能耗与被动屋低能耗住宅规范》，这也是到目前为止，世界上第一部也是唯一的被动房屋的规范。该规范中提出的主要指标见表 1。

表 1 瑞典被动式房屋的主要指标¹

类别	指标名称	指标要求	
气密性	n_{50}^2	=0.3	
采暖和生活热水用能	输送至建筑物的采暖和生活热水能量	气候区 1	≤58 kWh/(m ² a)最大非电加热 ≤29 kWh/(m ² a)最大电加热
		气候区 2	≤54 kWh/(m ² a)最大非电加热 ≤27 kWh/(m ² a)最大电加热
		气候区 3	≤50 kWh/(m ² a)最大非电加热 ≤25 kWh/(m ² a)最大电加热
采暖负荷	楼宇采暖负荷	气候区 1	≤17 W/m ²
		气候区 2	≤16 W/m ²
		气候区 3	≤15 W/m ²
室内舒适度指标	采暖室内温度		20~26℃
	噪音		B 类
	超温频率		10%

¹该表中的 m²指每平方米采暖面积

²室内外压差 50 帕的状态下，房屋每小时换气次数。

德国 Rongen Architekten 建筑师事务所提供的德国被动式房屋主要指标见表 2。

表 2 德国被动式房屋主要指标

类别	指标名称	指标要求
气密性	n_{50}	≤ 0.6
建筑物总用能	总一次能源消耗	$\leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
采暖需热量和采暖负荷	楼宇采暖需热量	$\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
	或采暖负荷	$\leq 10 \text{ W}/\text{m}^2$
制冷	有效制冷需求	$\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
室内舒适度指标	室内温度	$20 \sim 26^\circ\text{C}$
	超温频率	10%
	室内二氧化碳含量	$\leq 1000 \text{ ppm}$

德国被动式房屋研究所 (Passive House Institute) 的认证指标如表 3。

表 3 德国被动房认证指标

类别	指标名称	指标要求
气密性	N_{50}	≤ 0.6
建筑物总用能	总一次能源消耗	$\leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
采暖需热量和采暖负荷	楼宇采暖需热量	$\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
	采暖负荷	$\leq 10 \text{ W}/\text{m}^2$
制冷和除湿	制冷需求(包括除湿)	$\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) + 0.3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{aK}) \cdot \text{DDH}^3$
	或制冷负荷	$\leq 10 \text{ W}/\text{m}^2$

被动式低能耗房屋⁴不仅适用于量大面广的住宅，而且可应用于办公楼、学校、幼儿园和超市等。1991 年德国达姆施达特市建成了世界上第一栋真正意义上的被动式房屋。目前德国已经有 6 万多栋这种房屋，并以每年新增 3000 栋的速度增长。

³DDH 指需进行干燥空气温度小时数。

⁴本文暂时沿用国际上已普遍使用的“被动式房屋”的名称，直至出现符合国人习惯并为国人认可的新名称为止。

（三） 各国情况与趋势

为了进一步降低建筑能耗，提高建筑能效，降低温室气体的排放，欧美许多国家都提出了中长期的建筑能源战略规划和政策目标，研究和建设近零能耗建筑几乎成为各国进一步挖掘建筑节能潜力，摆脱对化石能源依赖的有力措施之一。

1. 欧盟

从产业、经济、福利及安全等角度讲，能源问题都是欧盟当今面临的最大挑战之一。欧盟是世界最大的能源净进口者，其对外能源进口依赖度越来越高。为了保证能源供应的安全性、竞争性（用得起）和环境可持续性。对外实行一致的共同能源政策日益成为欧盟成员国的迫切需要。2007 年 3 月，欧洲理事会通过《能源和气候变化一揽子计划》，为欧盟确定了三个“20%”的目标：即在 2020 年以前将温室气体的排放量在 1990 年水平上降低 20%，一次能源消耗降低 20%，可再生能源应用比例提高 20%。但是，欧盟既有能源政策难以实现 2020 年的既定目标，也不能适应欧盟面临的长期挑战。因此，欧盟委员会于 2010 年颁布了名为《能源 2020——寻求具有竞争性、可持续性和安全性能源》的战略文件，明确了欧盟在能源领域的中期政策目标。由于建筑能耗占社会终端能耗比例高达 40%，欧盟在《能源 2020》中将挖掘建筑节能潜力作为优先的行动计划，并出台相关法规来确保建筑物能耗的降低。欧盟 2010 年修订的欧盟建筑能效指令（EPBD）明确提出，到 2020 年，欧洲大陆所有新建建筑要达到近零能耗水平。

2. 德国

德国从 1977 年颁布第一部保温法规到 2012 年进一步修改建筑节能条例（EnEv），共经历了六个节能阶段（见图 1），建筑采暖能耗已由最初的 200kWh/(m²a)下降到目前 45kWh/(m²a)的水平。日本发生福岛核电站事故后，德国率先宣布放弃使用核能（占其能源总供应量的 40%），并于 2011 年提出了新的房屋节能目标：自 2019 年 1 月 1 日起，将政府办公建筑建成近零能耗房屋；自 2021 年 1 月 1 日起，将所有新建房屋建成近零能耗房屋；到 2050 年，所有房屋节约 80%的一次能源。发展被动式房屋是德国实现上述目标的基础，可为

德国节省近 40%的社会终端能耗。在被动式房屋的基础上，德国还将进一步研究产能房屋（energy plus）。

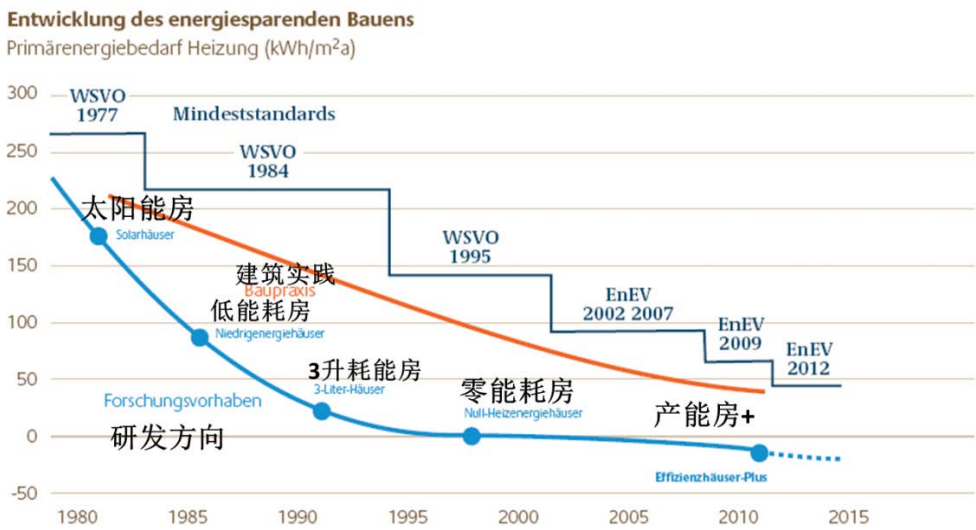


图 1 德国建筑节能标准的发展历程（资料来源：德国能源署）

在强调节能的同时，德国对被动式房屋的室内温度、湿度、超温频率和二氧化碳含量等指标也作了限定，并作出严禁室内结露发霉、外窗内表面无结露现象、外围护结构室内外表面温度均衡、无冷辐射现象等一系列要求，从而防止了以牺牲室内舒适度来实现节能的行为，也可消除人们以为节能就必然要降低室内舒适度的担心。

3. 丹麦

自 1973 年第一次石油危机以来，丹麦就一直实行积极的能源政策。自 1980 年以来，丹麦经济增长了 80%，但能源消耗总量基本维持不变。在欧盟成员国中，丹麦是能源利用效率最高的国家之一。目前，随着可再生能源供应比重的逐步提高，丹麦明确了未来能源发展的方向：到 2050 年，温室气体排放要在 1990 年的水平上降低 80%以上，到 2050 年，完全摆脱对化石燃料的依赖。2013 年 3 月，丹麦议会批准通过了《2012-2020 年能源执政协议》。该协议提出了一揽子行动计划，旨在实现 2050 年“100%依靠可再生能源供应”的目标。其中 2020 年的主要预期目标为：

- 1) 与 1990 年相比，温室气体排放减少 34%。
- 2) 可再生能源占终端能源消费总量的比重超过 35%；
- 3) 2020 年前，新建建筑成为近零能耗建筑，主要依靠可再生能源。

4) 从 2013 年起，新建建筑禁止使用石油和天然气采暖，区域供热区内的现有建筑自 2016 年起不得安装新的燃油锅炉。进一步推广热泵、太阳能和生物质的热利用。

4. 美国

2009 年，奥巴马总统承诺，如果其它经济体同意限制温室气体排放，到 2020 年，美国的温室气体排放比 2005 年水平下降 17%。为了实现这一目标，奥巴马政府与州政府和私营部门合作采取了系列措施，包括：1) 削减发电厂的碳排放，促进清洁能源的发展和长期投资；2) 开发和应用先进的交通技术，促进各种交通模式中应用更清洁的生物燃料；3) 促进建筑节能，扩大奥巴马总统的“更好的建筑挑战”项目。该项目致力于到 2020 年，使美国的商业和工业建筑的能效提高至少 20%。代表 20 亿平方英尺的 120 多个组织参与项目。美国还通过房屋保温改造援助项目（WAP），居住建筑节能改造、商业建筑节能改造、自愿性绿色建筑发展等项目来促进建筑能效的显著提高。

（四）中国现有建筑采暖能耗与德国被动式低能耗房屋的比较

首先，将中国现有的北方居住建筑节能标准同德国被动低能耗房屋做比较。中国是用耗热量指标，而德国的被动式房屋用的是采暖能耗需求，并且冬季的室内温度不得低于 20℃。虽然纯理论计算不反映真正能耗水平，但可以反映一定的趋势。选择与德国气候水平相近的天津作比较。天津市现行 65%建筑节能标准作对比，该标准规定相当于采暖室温在 18℃时房屋采暖热需求 41.48kWh/(m²·a)。而被动式房屋采暖室温在 20℃时采暖热需求不得超过 15kWh/(m²·a)，大约是天津市现行标准规定的 1/3。图 2 显示了中德建筑节能标准的对比，可见天津市现行标准的水平相当于德国 2009 年节能标准的水平。

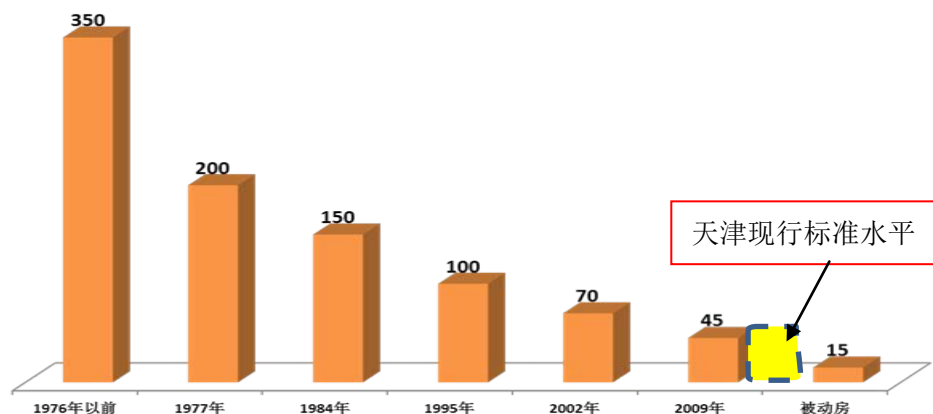


图 2 中德建筑节能标准的对比

但是，采暖供应端的能耗才是建筑物的真正能耗。而我们国家现在锅炉房采暖能耗实际的耗煤量远远大于计算值。以天津市为例：天津市发展与改委委员会下达的《“十一五”期间供热系统效率及耗能目标》，即 2009-2010 年单位供面积耗煤量 —— 21.8kg 标准煤/m²；2010-2011 年单位供热面积耗煤量 20.8kg 标准煤/m²。德国被动式房屋 15kWh/(m²·a) 的采暖需求，相当于锅炉端的耗煤量 2.77kg/(m²·a)。仅为天津市节能目标的锅炉端耗煤量的 1/7。

表 4 多层居住被动式建筑外围护结构传热系数与我国现行标准的比较

类别	瑞典被动房 U[W/(m ² K)]	德国被动房 U[W/(m ² K)]	中国 JGJ26-2010 K[W/(m ² K)]	
			北京	哈尔滨
屋顶	——	≤0.15W/(m ² K)	=0.45	=0.25
外墙	——	≤0.15 W/(m ² K)	=0.60kWh/(m ² a)	0.40
外窗	≤0.8	U ≤ 0.8	=2.0 W/m ²	1.6

（五）中德被动式低能耗房屋示范合作项目

2009 年，在我国住房和城乡建设部建筑节能与科技司和德国交通、建设和城市发展部的支持下，我国住房和城乡建设部科技发展促进中心与德国能源署合作开展了“中国被动式低能耗房屋示范项目”，目标是在中国建造一批符合中国国情的被动式低能耗房屋示范项目，以推动中国建筑节能事业的深入发展。同年，中德双方在天津、成都、上海、沈阳召开了“被动式低能耗房屋示范项目实施可行性研讨会”。

2010 年，中德双方前往上海、天津、唐山、秦皇岛、沈阳、盘锦和哈尔滨等 7 个城市，向当地建设主管部门宣传被动式低能耗房屋的理念，寻求并最终

确定了两个示范项目：秦皇岛五兴房地产有限公司开发的秦皇岛“在水一方”项目（一栋 18 层住宅楼，建筑面积 6467 平方米）和黑龙江辰能盛源房地产有限公司在哈尔滨开发的住宅及写字楼项目（一栋 5 层住宅楼、一栋 11 层住宅楼和一朵 17 层商业写字楼，总建筑面积 3.03 万平方米）。

2011 年 6 月，在首届中德政府协商会议期间，在中德双方总理温家宝和默克尔的见证下，我国住房和城乡建设部姜伟新部长与德国联邦交通、建设与城市发展部彼特·拉姆绍尔部长在柏林签署了《关于建筑节能与低碳生态城市建设技术合作谅解备忘录》，其中将被动式低能耗房屋作为重要合作内容予以深化推进。此后，姜伟新部长三次考察秦皇岛“在水一方”C15 楼施工现场并进行指导，为示范工程的成功实施给予了巨大支持。

2012 年 12 月，秦皇岛“在水一方”C15 楼外窗和外保温系统安装完成。2013 年 1 月 15 日，C15 楼一层和二层室内装修完成。2013 年 1 月 15 日~18 日，住房和城乡建设部科技发展促进中心会同秦皇岛五兴房地产有限公司等有关单位对“在水一方”C15 楼的气密性和室内环境进行了测试。

三、秦皇岛示范工程

（一）工程概况与项目目标

“在水一方”居住区位于秦皇岛市海港区大汤河畔，北临和平大街、东临西港路、南临滨河路、西临大汤河，与入海口相连，规划占地 840 亩，建筑面积 150 万平方米，分 A、B、C、D、E、F 六个区。

中德被动式低能耗房屋示范项目位于 C 区，共有 9 栋示范楼，总面积 80344 平方米。图 3 显示了该项目的规划情况，其中红色建筑是被动式低能耗房屋示范楼。

“在水一方”C15 楼是按照德国被动式低能耗房屋标准建造完成的第一栋楼，高 18 层，建筑面积 6467 平方米。



图 3 秦皇岛“在水一方”工程规划图

中德两国技术人员根据秦皇岛的气候条件，设置了室内环境指标和能耗指标作为该项目的预期目标。在确保室内舒适环境的同时使能耗降到最低。其具体指标见表 5。

表 5 示范工程设定目标

室内环境指标	能耗指标
1 室内温度 20~26℃; 2 超温频率≤10%; 3 室内二氧化碳含量=1000ppm; 4 围护结构内表面温度的温差不得超过 3℃; 5 门窗的室内一侧无结露现象。 6 噪音限值 ● 机房= 35dB; ● 功能房= 30dB; ● 起居室= 30dB; ● 卧室= 30dB	1 采暖 ● 采暖需求=15 kWh/(m²·a) ● 采暖负荷= 10 W/m² 2 制冷 ● 制冷需求= 15 kWh/(m²·a) ● 制冷负荷= 15 W/m² 3 房屋总一次能源= 120 kWh/(m ² ·a)

（二）关键技术的应用

1. 被动式房屋主要应用技术包括以下几类：

无热桥的高效外保温系统

屋顶、外墙和地下室顶板的传热系数要满足 $K \leq 0.15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{k})$ 。非透明外围护结构需要用较厚的保温材料完整包覆，不得出现由梁、板、柱等形成的结构性热桥，不得出现结露发霉现象。对于不可避免的由金属连接件造成的热桥要采取阻断热桥设施。这种构造措施使得整个外围护结构起到冬季保温、夏季隔热的作用。

2. 采用双 Low-e 高性能保温隔热外窗

外窗具有良好的采光、隔热和保温性能。外窗要满足传热系数 $K \leq 0.8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{k})$ 、玻璃的太阳能总透射比 $g \geq 0.35$ 、玻璃选择性系数 $S \geq 1.25$ 的性能要求。这种性能的窗可以对不同波长的光线进行选择透过。从而实现利用自然光满足照明的同时，在夏季将造成冷负荷的光线隔绝在室外，在冬季将辐射到的玻璃近红外线反射回室内。同时其气密性等级不应低于 8 级、水密性等级不应低于 6 级和抗风压性能等级不应低于 9 级。

3. 高效热回收新风系统

被动房配有通风效率 $\geq 75\%$ 的热回收新风系统。新风经过滤等级不低于 G45 进入室内。空气质量要满足 $\text{CO}_2 \leq 1000 \text{ ppm}$ 的要求，并能全年自动运行。这样的新风系统在每次换气时将能量损失控制到 25% 以内。

4. 房屋良好气密性

房屋应具有包绕整个采暖体积的、连续完整的气密层；每一居住单元应具有包绕整个采暖体积的、连续完整的气密层。房屋的气密性必须满足在室内外压差为 50Pa 的条件下，每小时的换气次数不超过 0.6 次。即满足 $n_{50}=0.6$ 要求。为了使气密能够达到规定要求，需要采取一系列技术措施处理外围护结构的连接节点。如门窗与外墙的连接；穿墙管道的密封处理；安装开关插座孔洞的密封等等。

5. 防潮防水技术

外围护结构构造和材料性能要保证被动式房屋围护结构不能出现结露发霉的现象。如屋面和外墙的防水隔气层和防水透气层、外窗和外墙连接的防水隔气层和防水透气层。穿墙管道、外窗与外墙之间的膨胀密封条等。

6. 充分利用太阳能和其它可再生能源

⁵实测结果表明，在 PM_{2.5} 重度污染情况下，被动式房的 PM_{2.5} 是普通房屋的四分之一左右。

因地制宜，充分利用可再生能源可以使建筑减少对化石能源的依赖和对一次能源的消耗。

太阳能在建筑上的应用主要包括以下几部分。

1) 利用太阳能满足室内冬季得热要求。房屋的主朝向宜为南向。中国北方地区夏季太阳角高，阳光不易晒入室内，冬季太阳角低，阳光可以很容易照射进室内，使室内得到来自太阳辐射带来的热量。

2) 利用太阳光照射满足采光和日间照明要求。利用光导装置将阳光导入地下车库满足照明需求。完全节省了车库的照明用电。

3) 利用太阳能解决生活热水需求。如利用房屋的日照时间长且太阳光充足的建筑表面，安装太阳能热水器。

7. 保障房屋耐久性的材料与技术

被动式房屋从构造上使外围护主体结构处在保护层里面，免受风霜雨雪的侵蚀。这样的房屋会比普通房屋有更好的耐久性。它应该可以正常使用 200~300 年，甚至更长的时间。这就要求被动式房屋所用材料必须具有良好的耐久性。被动式房屋所用的窗与墙的密封材料、防水材料必须有良好的老化性能；移动遮阳系统必须有耐紫外线和防风雨措施；墙体保温系统的材料均要有良好的耐久性等。这样才性保证房屋的性能不丧失。

8. 高厚度外墙外保温防火技术

被动房的外墙外保温材料厚度一般超过 200mm。确保外墙外保温系统没有火灾隐患。采取两方面的技术，一方面采用外保温材料不会在施工过程中被电焊引燃，在火灾中过程本身不会加大火灾蔓延，无毒气释放；另一方面采用防火构造阻止火灾蔓延，每层设置环绕型的岩棉防火隔离带，或在门窗洞口三侧设置防火隔离带。

9. 智能化控制

住户可以根据自己的喜好设定室内温度和 CO₂ 浓度。空调机根据室内 CO₂ 浓度和室内温度自动运行。这种方式一方面保障了室内的舒适度另一方面也避免了新风机的持续运行，达到了节能的目的。

10. 噪声防护

示范工程达到了通过管网和辅助通道传递声音限值，满足机房 $\leq 35\text{dB}$ 、卧室和起居室 $\leq 30\text{dB}$ 目标要求。为了实现这一目标，我们采取了一系列技术措施。主要包括：采用隔声性能良好的外窗、楼板之间的隔声、管道隔声、邻户之间隔声和邻室之间的隔声等。

（三）施工与质量控制

秦皇岛“在水一方”C15 楼主要采用了被动式节能技术和绿色建筑技术，达到了被动式超低能耗绿色建筑的示范要求，节能、节水的效果卓越。其主要的被动式节能技术包括高效的围护结构保温隔热和防水系统、防热桥技术、气密性措施和带热回收的新风系统。

1. 外墙

外墙采用 250mm 厚石墨聚苯板，导热系数 $\lambda = 0.033\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ，尺寸为 $500\cdot 600$ ，厚度为 70mm, 100mm, 150mm。建筑每层设置了环绕性岩棉防火隔离带。外墙保温系统还配备各种配件，如窗口连接线条、滴水线条、护角线条、伸缩缝线条、断热桥锚栓、止水密封带，从而提高了外保温系统保温、防水和柔性连结的能力，保证了系统的耐久性、安全性和可靠性。外墙导热系数 $K=0.13/(\text{m}^2\cdot\text{K})$



图 3：石墨聚苯板模块



图 4：外墙保温及防火隔离带

2. 地下室外墙和散水

冻土层以下 0.5 米自室外地坪以上 300mm 处的地下室外墙，粘接连续的沥青防水层，防水层上面铺设耐水防潮、耐腐蚀且具有高抗压性的的泡沫玻璃。

墙基处泡沫玻璃可以抵抗冲击，增强对墙基的保护。地坪以上 300mm 以上的建筑外墙粘接 B1 级的石墨聚苯板，泡沫玻璃和 EPS 板交接处设置长约 1m 的折叠性金属的雨水导流板，以避免对墙基处保温系统的侵蚀。散水采用渗水的鹅卵石。从而将雨水导入土壤，同时防止雨水溅射到外墙上，增强散水美观性。



图 5：地下室外墙防水保温



图 6：散水

3. 屋面和女儿墙

屋面采用了 300mm 厚石墨聚苯板，导热系数为 $0.033\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ，保温层上下各铺设一层防水层，靠近室内一侧设置的防水隔气层。屋面与外墙的保温层连续无间隙。屋面传热系数 $K=0.10\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$

屋面女儿墙的上部、内侧全部包裹在防水层保温层里。女儿墙上部安装 2mm 后金属盖板抵御外力撞击。金属板向内倾斜，两侧向下延伸至少 150mm，并有滴水鹰嘴，从而加强密封，防止雨水渗入保温层，提高系统的耐候性。

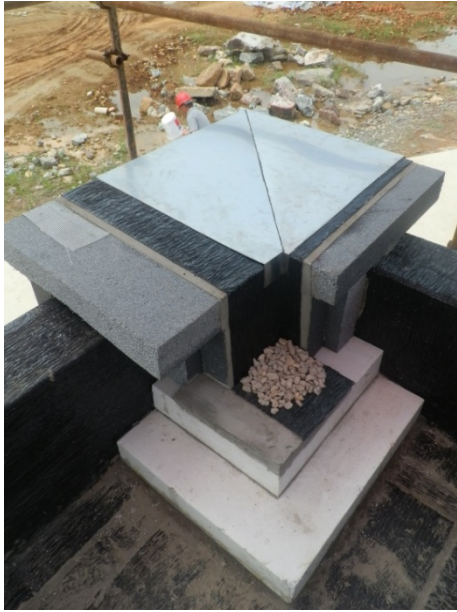


图 7:屋顶保温防水

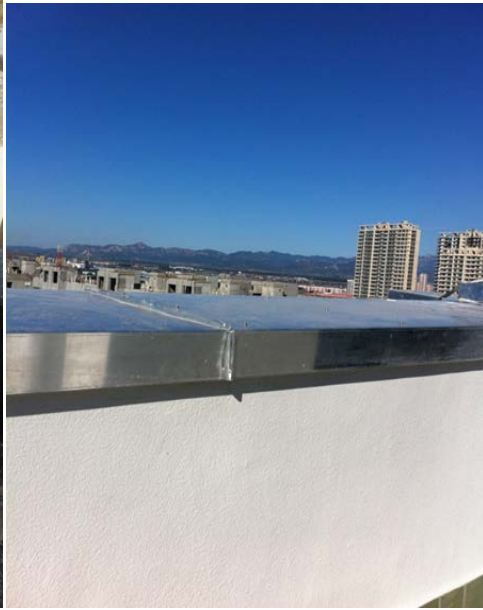


图 8: 屋顶女儿墙盖板

4. 首层地面与非采暖地下室顶板

首层地面采用了 150mm 厚挤塑聚苯板, B2 级, 导热系数为 $0.029\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, 非采暖地下室顶板采用了 150mm 厚石墨聚苯板, B1 级。一层地面传热系数 $K=0.12\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 。



图 9: 地面的做法

5. 楼板

标准层楼板采用 60mm 厚 EPS 板, B2 级, 导热系数为 $0.041\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, 地面传热系数为 $K=0.38\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 。

5. 分户墙

分户墙两侧各采用了 30mm 厚酚醛板，导热系数为 $0.018\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ，分户墙的传热系数 $K=0.12\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 。

6. 不采暖楼梯间与室内隔墙

隔墙外侧为 120mm 厚酚醛板，内侧为 30mm 厚酚醛板， $K=0.12\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ，电梯进道内粘贴 60mm 厚岩棉板。



图 10：电梯井保温

7. 厨房、卫生间排风道保温

排风道采用了 70mm 厚模塑聚苯板保温，防止室内热量通过排风管道散失到室外。



图 11：水泥预制风道保温

8. 外窗的保温防水系统

外窗玻璃为双 Low-E 中空充氩气的三层玻璃，传热系数为 $0.65 \sim 0.88 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ； $g=0.5$ ；外窗框采用多腔塑料型材，传热系数 $1.5 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 。整窗传热系数为 $K=1.00 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 。

被动房窗户是安装在主体外墙外侧，窗框外侧落在木质支架上实现更好的隔热效果。外窗借助于角钢或小钢板固定，整个窗户的三分之二被包裹在保温层里，形成无热桥的构造。

窗框与窗洞口之间凹凸不平的缝隙填充了自粘性的预压自膨胀密封带，窗框与外墙连接处必须采用防水隔汽膜和防水透气膜组成的密封系统。室内一侧采用防水隔汽密封布，室外一侧应使用防水透气密封布，从而从构造上完全强化了窗洞口的密封与防水性能。与传统泡沫胶相比，此类密封布具有不变形、抗氧化、延展性好、不透水、寿命长等特点。保温系统上设计安装了金属窗台板，窗台板有滴水线造型，从而既保护保温层不受紫外线照射老化，也导流雨水，避免雨水对保温层的侵蚀破坏。



图 12: 外窗的安装



图 13: 外窗内侧密封布



图 14: 外窗保温



图 15: 窗台板

10. 防热桥的构造

1) 外挑阳台与连廊

阳台和连廊是外挑构件，是建筑最薄弱的热桥环节，处理方式是将阳台（连廊）与主体墙结构断开，阳台板靠挑梁支撑，保温材料将挑梁整体包裹。断开面填充与外墙保温层同厚度的保温材料。

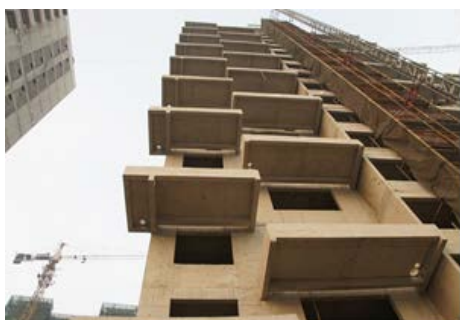


图 16: 阳台断开出



图 17: 连廊断开出

2) 穿墙管线

穿墙管不应直接穿过结构墙，应外包 PVC 套管，套管与墙洞之间填充岩棉或发泡聚氨酯，实现隔热保温。



图 18：穿墙套管保温



图 19：风道保温

3) 外墙金属支架（空调支架、太阳能热水器支架、雨落管等）

外墙上的各种支架如空调支架、太阳能热水器支架和雨水管支架都是容易产生热桥的部位，应作合理的隔热桥处理。金属构件不宜直接埋入外墙，应在基墙上预留支架的安装位置，金属支架与墙体之间垫装 20mm 的隔热垫层，如硬质塑料、石膏板，减少金属支架的散热面积。



图 20：太阳能热水支架



图 21：雨落管支架

11. 气密性措施

1) 墙面、顶棚、地面气密性：采用水泥腻子刮一遍，封堵缝隙，地面刮水泥浆一遍。



图 22：缝隙封堵



图 23：电线管路改造用石膏封堵缝隙

2) 钢筋混凝土墙体中对穿螺栓孔洞的密封性

钢筋混凝土墙体中模板对穿螺栓孔洞用发泡剂封堵后，内外用抗裂砂浆封堵。



图 24：对穿螺栓孔洞密封

3) 穿墙套管与外保温系统之间的气密性

穿墙套管发泡后内外用网格布抗裂砂浆封堵或者采用专用气密性套管密封抹抗裂砂浆，套管与外保温系统接口处采用止水密封带。



图 25：穿墙套管发泡后内外用网格布抗裂砂浆封堵



图 26：气密性套管及止水密封带

4)、集线盒及电线套管内气密性

用石膏填充预留孔洞，将集线盒挤压入石膏填充的孔洞。电线套管穿完电线后采用密封胶封堵。



图 27：集线盒及电线套管密封

12. 隔音措施

1) 楼板隔声

楼板与地面均铺设 5mm 厚隔声垫。并上返到踢脚线高度。地面减震隔音垫的材质为闭孔型发泡聚乙烯，厚度为 5mm，计权规范化撞击声压级改善量为 $\Delta=19\text{db}$



图 28：楼板隔音

2) 室内排水管道隔声

室内排水管道、主管、支管均采用内层结构为 25mm 波浪式聚乙烯泡绵进行保温隔音处理。



图 29：室内排水管保温隔音



图 30：固定 U 型卡垫隔音垫

3) 电器开关、插座隔声

房间墙壁开关、插座隔音采取横向错位 200mm 以上的错位，解决孔隙传声。



图 31：电器开关插座隔音

13. 新风、供暖和制冷

1) 被动房屋专用热回收空气源热泵机组，是由清华同方人工环境只能有限公司专门研发生产的，每户一台，分户安装独立使用。该机组能冬季辅助供热，夏季制冷。新风系统热回收率达 75%以上，新风温度 $\geq 16^{\circ}\text{C}$ ，过滤器效率等级 G4 级。能效比达 2.8。

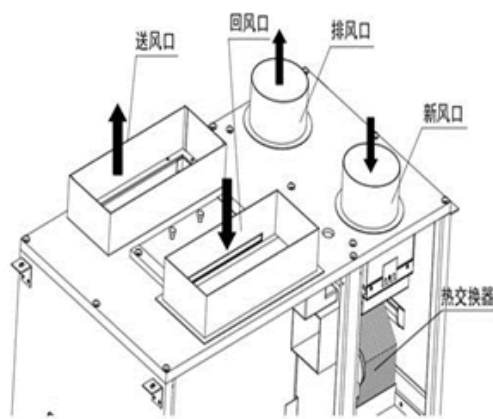


图 32：新风空调机组室内机示意图



图 33：新风空调机组室内机

2) 室内温度、CO₂ 浓度控制模式

室内温度控制模式—客厅和主卧室各设一个温度探头，同时控制温度，温度可以自动设定。客厅和主卧各设一组 CO₂ 探头测试，控制新风机组，用户自设控制范围。



图 34：室内环
度控制面板



图 35：境控制面板

图 35：二氧化碳浓
度控制面板

表 6 15 号楼主要技术措施一览表

项目	节能技术和措施	性能指标
一、围护结构		
外墙	石墨聚苯板，B1 级，导热系数为 0.033W/(m·K)，250mm 厚；每层设置环绕性岩棉防火隔离带，密度 ≥ 100 kg/m ³	K=0.13W/(m ² ·K)
屋面	石墨聚苯板，导热系数为 0.033W/(m·K)，300mm 厚	K=0.10W/(m ² ·K)
地下室顶板	石墨聚苯板，B1 级，导热系数为	K=0.12W/(m ² ·K)

	0.033W/(m·K), 150mm 厚挤塑聚苯板, B2 级, 导热系数为 0.029W/(m·K), 150mm 厚	
楼板	EPS 板, B2 级, 导热系数为 0.041W/(m·K), 标准层楼板 60mm 厚	K= 0.38W/(m ² ·K)
外窗	外窗玻璃为双 Low-E 中空充氩气的三层玻璃, 传热系数为 0.65~0.88W/(m ² K); g=0.5; 外窗框采用多腔塑料型材, 传热系数 1.5W/(m ² K)	K=1.00W/(m ² ·K)
外门	保温、隔音、防火	K=1.00W/(m ² ·K)
分户墙保温	两侧各 30mm 厚酚醛板, 导热系数为 0.018W/(m·K)	K=0.27W/(m ² ·K)
不采暖楼梯间与室内隔墙	外为 120mm 厚酚醛板, 内为 30mm 厚酚醛板, 导热系数为 0.018W/(m·K)	K=0.12W/(m ² ·K)
电梯井侧壁	60mm 岩棉	

二、无热桥构造、气密性和隔音措施

门窗洞口, 填充墙	全面抹灰, 采用专用密封胶带封堵	
穿墙各种管线	绝热套管, 止水密封胶带和密封胶封堵	
楼板隔音	5mm 隔音板	
户内下水管道隔音	排水管外包隔音毡	
外挑阳台	与主体结构断开, 中间填充保温材料	
外墙附着的金属支架	支架与主体结构之间安装隔热垫层	

三、采暖、制冷及新风

带新风、空调和热水的空气源热泵一体机	室内温度控制供暖和制冷, 二氧化碳浓度控制新风输送	新风系统热回收率达 75%以上, 新风温度 ≥ 16℃, 过滤器效率等级 G4 级, 能效比 2.8
--------------------	---------------------------	--

四、生活热水

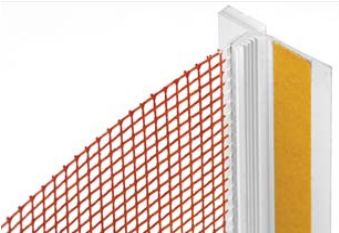
分户式太阳能生活热水		
------------	--	--

五、其他绿色技术

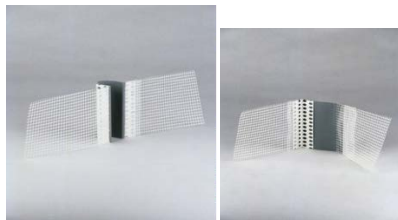
中水利用、雨水收集、地下车库导光照明		
--------------------	--	--

表 7 被动式低能耗建筑关键材料与部品材料清单

一、围护结构外保温系统	
材料与产品	性能描述
1 断热桥锚栓 	? 锚栓膨胀插件分两段段设置，前方膨胀区域采用钢钉，达到更好的锚固效果，套筒锥形柱部分采用塑料插头，达到杜绝热桥现象的功能，同时实现敲击时力传导作用。? 设置与保温材料同材质的盖端断热桥，沉头式旋入安装，安装完成后表面与保温板齐平，达到杜绝热桥现象的同时，又可实现与砂浆的可靠粘结，与保温材料保持相同的伸缩性。
2 铝合金底座托架 	铝合金制造，U 型附件，用底座托架钉固定；可根据保温板厚度加工，用于保护系统底部，防水、防火、防止动物啃咬等；能有效保持外墙外保温系统底部的整洁度及平整度，附有滴水功能，用于将表面泛水；用于地基部位、阳台、女儿墙等溅水区域，以封闭和保护系统终端。 硬质塑料，有 3mm，5mm，8mm 等不同型号可选择。
4 护角线条 	铝合金制，用于阳角及门窗边角保护

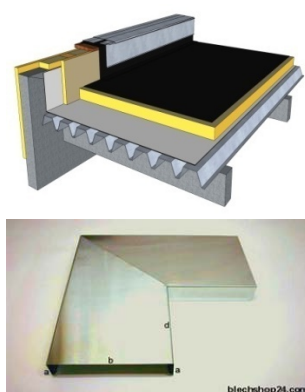
5 滴水线条 	高耐久性塑料线条，两面带有加强网布。用于门窗洞口上边沿，阳台部位以及建筑物檐口，减少立面污水流入屋檐部位，将表面污水泛出立面，可有效减少墙面受水流污染。
6 预压密封带 	预压类自膨胀密封带，有 PUR 软泡沫类防水材料制成，且密封带两侧均具有防水性，自粘性黑色预压密封带，适用于 2-6mm 的缝隙；用于外墙外保温系统与其它穿墙构件的防水联接，既可用于规则部位，也可用于不规则部位的防水连接。
7 门窗连接线条 	塑料制线条，防雨，附带自粘性白色塑料粘结线条，自带密封条以及网格布。密封带：15x4 mm；网布宽度：25cm；防水强度：600 帕；防错位偏差：1mm。用于外墙外保温系统中门、窗连接部位，构造无裂纹柔性防水连接。

8 伸缩缝线条



E 型伸缩缝线条，用于墙体中间的伸缩缝密封连接；V 型伸缩缝线条，用于墙角部位的伸缩缝密封连接。自带两条耐碱玻纤网布，网布宽度：2 x 10cm，适用于 5-25mm 宽度的结构伸缩缝部位的密封连接

9 女儿墙盖板



铝合金或镀锌板，保护女儿墙部位保温系统不受紫外线照射老化和雨水侵蚀

二、外窗系统

10 被动房窗户



采用三层 Low-E 玻璃，玻璃间充惰性气体（氩气或氪气），玻璃 U_g 值为 $0.7W/(m^2 \cdot K)$ ，玻璃间隔条采用耐候性良好的非金属间隔条。玻璃的太阳能总投射比 $g \geq 0.45$ 。窗框通常为多腔木框架或塑料框架，填充高效的发泡芯材保温，整窗的 U 值达到 $0.8-1.0W/(m^2 \cdot K)$ 。

11 窗户自膨胀密封带



用于门窗和墙体及保温板接缝的密封；墙体接缝的密封。具有防风、抗振、隔音的效果

12 窗户防水密封布



用于门窗和墙体之间的接缝，具有延展性，防水及透汽性能，通过自粘胶带和专用粘结剂实现了有效粘结：一边有效地粘结在窗框（或副框上），另一边通过兼容性极强的专用粘结剂粘结在墙体上，实现真正的防水密封。粉色是防水隔汽膜，白色是防水透气膜。

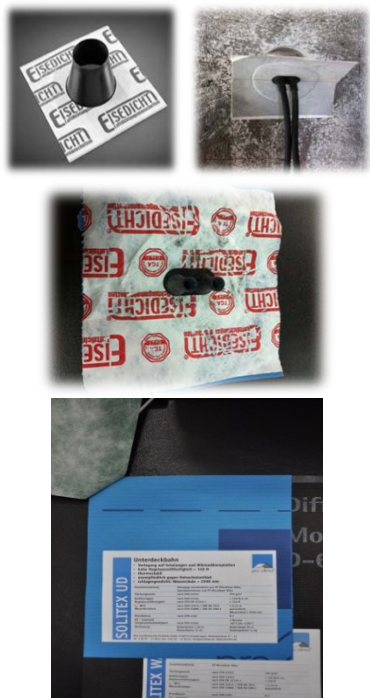
13 窗台板



铝合金板，有效保护窗户下部保护温层不受紫外线照射老化和雨水侵蚀及外力冲击破坏，延长保温系统寿命，保持窗台的干净整洁

三、气密性材料

14 带密封布的气密性套管



密封布纤维网布，具有防水和延展性，有自粘性能。确保穿墙套管与开通口的气密性连接，施工简捷方便。

四、采暖（制冷）新风系统-HVAC

15 带新风、热回收和的空气源热泵一体机



能送新风，冬季采暖，夏季制冷，提供生活热水。新风系统热回收率达 75%以上，过滤器效率等级 G4 级。

16 木屑生物质能



压缩的木屑燃料，用于冬季采暖

（四）示范工程的成本分析

同普通节能房屋相比，被动式低能耗房屋的保温材料、外窗、高效热回收装置和高标准施工要求等均使工程造价有所增加。但是被动式低能耗房屋取消了传统的采暖供热系统（小区热交换站、楼内供热管网、热计量系统等），并由此减少了城市供热热网配套费。表 6 给出了秦皇岛“在水一方”C15 楼分别按照我国现行节能 65%标准和按照德国被动式房屋标准建造的造价对比，可以看出，后者每平方米增加的造价约为人民币 600 元左右。

从开发商的角度分析：该增加的成本可由两方面从市场上获得补偿：一是在售价上被动式低能耗房屋可比普通房屋高；二是被动式低能耗房屋在市场上比普通房屋更具吸引力，售房速度加快，从而降低了资金周转的成本。

从购买者的角度分析：被动式低能耗房屋省去了采暖费用。如果购买被动式房屋每平方米多花费了 600 元，按采暖费 30 元/m²/年计算，20 年可收回这部分投资。虽然购房时投资有所增加，但就“在水一方”实际的销售情况看，当前人们更看重的是舒适的室内环境而乐于投资。

表 8 “在水一方”C15 楼的造价对比

序号	项目	按节能 65%标准的造价 (元/m ²)	按被动式房屋的造价 (元/m ²)
1	降水	25	25
2	土方	10	10
3	护坡	9	9
4	桩基	30	30
5	结构	510	510
6	装修及保温	220	392
7	门窗	208	333
8	水暖电	380	297
9	电梯	50	50
10	热回收系统	0	300
11	防热桥及细部处理成本	0	90
12	建筑单体成本小计	1442	2046
13	室外工程及绿化	600	600
14	市政配套	200	130
15	规划设计	100	100
16	验收承办	150	150

17	土地款	2000	2000
18	不可预见费 3%	135	151
19	管理费 2.5%	116	129
20	贷款利息 6%	285	318
21	总成本合计	5028	5624

（五）能耗和室内环境的监测分析

2013 年 1 月 15 日~18 日，住房与城乡建设部科技发展促进中心会同秦皇岛五兴房地产公司等有关单位对示范项目的气密性进行了测试；2013 年 2 月 17 日~9 月 7 日，在有人居住的情况下，对该项目二层东室（建筑面积 132m²）和二层西室（建筑面积 134m²）的室内环境进行了 24 小时监测；同时，在 2013 年 2 月 17 日~4 月 5 日，以及 2013 年 7 月 24 日~8 月 24 日，对该项目在采暖期和制冷期的能耗情况分别进行了测试。

1. 气密性测试结果

气密性是评定被动式低能耗房屋性能的重要指标。按照德国被动式低能耗房屋标准，在室内外压差 50Pa 的状态下，房屋每小时换气次数 n_{50} 以不超过 0.6 为合格。

由于我国现行居住建筑标准中尚缺乏有关房屋气密性的规定，该项目系参照《公共建筑节能检测标准》（JGJ/T177-2009）规定的气密性测试方法鼓风门法（与德国标准 DIN EN13829-2001 规定的方法相同）进行测试。

测试结果显示，在室内外压差 50 帕的状态下，6 个测试房间每小时换气次数分别为 0.68、0.53、0.41、0.41、0.34、0.23。其中五个房间的气密性满足对被动房屋的要求，一个房间不满足。为比较不同气密性条件下的能耗和室内环境测试结果，在本次测试后未对不满足标准的房间进行加强处理。

2. 室内环境测试结果

在有人居住的情况下，对“在水一方”C15 楼二层东、西室两套住宅的室内环境进行了 24 小时监测。两套测试样本间的室内温度、湿度、CO₂ 含量、噪音、风速的实测结果见表 9。

表 9 测试样本的室内环境测试结果

测试项目	德国标准	实测结果（测试期 2 月 17 日~9 月 7 日）
------	------	----------------------------

测试样本	——	二层东室 建筑面积 132m ²	二层西室 建筑面积 134m ²
室内条件	——	室内设定的最低温度： 18℃ 室内设定的最高温度： 26℃ 二人生活	室内设定的最低温度： 20℃ 室内设定的最高温度： 26℃ 三人生活
气密性	$n_{50}=0.6$	0.34	0.68
室内温度	20~26℃	东南卧室 16.3~30.9℃ 平均温度：23.3℃	北卧室 17.5~30.5℃ 平均温度：23.1℃
		西南卧室 15.5~29.8℃ 平均温度：22.8℃	南卧室 17.2℃~25.1℃ 平均温度：19.7℃ (测试期 2 月 20 日~4 月 15 日)
		客厅 17.1~29.8℃ 平均温度：22.8℃	客厅 17.1℃~31.3℃ 平均温度：23.0℃
		室内温度在 18-26℃ 比例：69%	室内温度在 20-26℃ 比例：69%
室内相对湿度	40~65%	东南卧室：44.0~91.8%	北卧室：33.9~89.2%
		西南卧室：45.4~91.8%	南卧室：19.1~73.4% (测试期 2 月 20 日~4 月 15 日)
		客厅：46.7~90.2%	客厅：41.4~92.6%
		室内湿度在 40~65% 比例：13%	室内处于 40~65% 比例：49%
室内 CO ₂ 含量 (测试期 2 月 20 日~4 月 15 日)	=1000ppm	198~1032 ppm	239~1054 ppm
		室内 CO ₂ 含量小于	室内 CO ₂ 含量小于

日)		1000ppm 比例: 99.2%	1000ppm 比例: 99.5%
室内噪音	=30dB	=30dB	=30dB
室内风速	=0.3m/s	=0.3m/s	=0.3m/s

东室：两人居住，空调控制模式为将室内温度控制在 18-26℃，室内温度低于 18℃时空调机组启动加热，高于 26℃时空调机组启动制冷。室内温度在有人居住的情况下保持在 15.5~30.9℃，室内温度处于 18-26℃的比例为 69%。室内湿度为 44.0~91.8%，处于 40~65%的比例为 13%。室内 CO2 含量、噪音、风速均满足对被动式房屋的要求。

西室：三人居住，空调控制模式为将室内温度控制在 20-26℃，室内温度低于 20℃时空调机组启动加热，高于 26℃时空调机组启动制冷。室内温度在有人居住的情况下保持在 17.1~31.3℃，室内温度处于 18-26℃的比例为 69%。室内湿度为 19.1~92.6%，处于 40~65%的比例为 49%。室内 CO2 含量、噪音、风速等指标均满足对被动式房屋的要求。

值得注意的是，两套住宅内业主由于生活习惯以及对于潮湿空气环境的适应，夏季并未一直采取关闭门窗、开启空调机组降温除湿的方式制冷，而是大部分时间开启门窗、自然通风，造成测试房间夏季室内温度、湿度较高。此外，由于部分时段测试房间内无人居住，空调机组关闭，造成冬季室内温度降低至设定温度以下的情况。

3. 能耗测试结果

能耗测试分两次进行，2013 年 2 月 17 日至 4 月 5 日进行了采暖期能耗测试，2013 年 7 月 24 日至 8 月 24 日进行了制冷期能耗测试。测试期间能源仅用电，分别用三块电表对空调新风机组（包括采暖、制冷和通风用电）、照明、插座（包括家用电器、炊事和生活热水用电）进行用电计量，实际用电量如表 10 所示。根据用电量测试结果测算其采暖、制冷费用，并与普通居住建筑作对比，对比结果如表 11 所示。

表 10 “在水一方” C15 楼二层东、西室用电量统计

	二层东室	二层西室
--	------	------

采暖期	2013-2-17 电表读数	2013-4-5 电表读数	48 天用电 量（度）	2013-2-17 电表读数	2013-4-5 电表读数	48 天用电 量（度）
空调新风机组	906.7	1286.8	380.1	2335.7	2855.6	519.9
照明	2545.3	2630.7	85.4	280.6	314.6	34.0
插座	770.0	1038.7	268.7	708.3	1009.9	301.6
制冷期	2013-7-24 电表读数	2013-8-24 电表读数	32 天用电 量（度）	2013-7-24 电表读数	2013-8-24 电表读数	32 天用电 量（度）
空调新风机组	1581.3	1737.9	156.6	3313.1	3601.0	287.9
照明	2710.6	2735.6	25.0	376.8	387.1	10.3
插座	1417.4	1530.9	113.5	1521.1	1682.3	161.2

表 11 “在水一方” C15 楼二层东、西室采暖、制冷费用分析

测试 时间	建筑面积 (m ²)	采暖电量 (度)	采暖费用（元） （按 0.52 元/度 计）	市政集中采暖费（元） （按 0.24 元/m ² /天计）	节约采暖费 （元/m ² / 天）
48 天	132（东 室）	380.1	198	1520	0.21
	134（西 室）	519.9	270	1544	0.20
测试 时间	建筑面积 (m ²)	制冷电量 (度)	制冷费用（元） （按 0.52 元/度 计）	普通住宅制冷费（元） （按空调开启 5h/天计）	节约制冷费 （元/m ² / 天）
32 天	132（东 室）	156.6	81	250	0.04
	134（西 室）	287.9	150	250	0.02

与采用集中供暖方式的居住建筑相比，被动式房屋的采暖费用可降低 80%以上，制冷费用可降低 40%以上，节省的采暖、制冷费约为 0.2 元/m²/天、0.04 元

/m²/天。“在水一方”被动式房屋示范楼共 9 栋，总面积共计 80344m²。据此测算，该项目共可节约采暖、制冷费用 286 万元/年、10 万元/年⁶。

根据测试期的用电量实测数据进行推算，可取得全年采暖、制冷、通风能耗⁷，全年照明能耗⁸，以及全年家用电器、炊事和生活热水能耗⁹，并按照每度电需要 360 克标准煤换算成一次能源消耗。将该项目能耗的实测值与被动式房屋标准、我国 65%节能建筑标准进行对比，其结果如表 12 所示。

表 12 “在水一方” C15 楼二层东、西室一次能源消耗的分析

一次能源消耗项目	被动房标准	我国建筑节能 65%标准	实测结果	
			二层东室	二层西室
采暖（含新风）kWh/(m ² a)	60	58.35 （仅采暖）	35.62	48.00
制冷（含新风）kWh/(m ² a)		——	3.48	6.30
照明 kWh/(m ² a)	——	——	11.19	4.42
家电、炊事、热水 kWh/(m ² a)	——	——	38.71	46.17
总一次能源消耗 kWh/(m ² a)	120	——	89.00	104.89

注：过渡季节新风系统不启动，业主自然通风

被动式房屋标准规定年采暖一次能源消耗不得大于 20 kWh/(m²a)，年制冷一次能源消耗不得大于 20 kWh/(m²a)，年除湿与通风一次能源消耗不得大于 20

⁶秦皇岛市的采暖期为 10 月 25 日至次年 4 月 20 日；制冷期按 30 天计算。

⁷采暖期空调新风机组的电表记录的是采暖和通风能耗，由于测试期未覆盖全部采暖期，按照测试期间与本年 10 月 25 日至次年 4 月 20 日期间的室外逐时温度与 20℃ 差值之和的比例关系，将采暖、通风能耗测试数据推算至整个采暖期；制冷期空调新风机组的电表记录的是制冷和通风能耗，测试期已覆盖全部制冷期。

⁸照明的电表记录的是照明能耗，按照测试期间的天数与全年天数的比例关系，推算至全年。

⁹开关插座的电表记录的是家用电器、炊事和生活热水能耗，按照测试期间的天数与全年天数的比例关系，推算至全年。

kWh/(m²a)，三项总计不得大于 60 kWh/(m²a)。二层东室的采暖、制冷、通风一次能源消耗实测值总计 39.1 kWh/(m²a)，西室实测值总计 54.3 kWh/(m²a)，均符合被动房标准规定。同时，东、西室的总一次能源消耗实测值也均在被动房标准范围内。

需要说明的是，“在水一方”C15 楼二层东、西室的测试是在整楼未封闭且全楼只有 2 户人家入住的情况下进行的，存在电梯井、管道井、楼梯间和室内墙体等散热的不利情况，能耗测试量会有较大幅度的增长。但即使在这种条件下，仍能完全满足对被动式房屋能耗的要求，预计业主大面积入住后能耗测试值将会进一步降低。

表 12 同时显示，本项目两套抽测房间的采暖（含新风）一次能源消耗实测值低于我国现行建筑节能标准（JGJ26-2010）对于采暖能耗的要求¹⁰。与节能率为 65%的标准相比，二层东、西室的采暖（含新风）一次能源消耗值为其规定指标的 61%和 82%。

（六）示范工程实施中存在的主要问题

秦皇岛被动式房屋示范工程的实施取得了显著的节能效果、环境效益和社会效益，为我国下一步制订更高的建筑节能标准摸索了技术路线，为我国建筑节能产业升级换代提出了更高的要求。然而，在项目实施中也遇到了一些问题和困难，值得总结和改进。

1. 缺乏建造被动式房屋的关键技术和高端产品

尽管示范项目中 80%以上的技术和产品都可以在国内找到，但是还有部分关键技术和高端产品，如传热系数 $K=0.8\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ 的被动式房屋专用窗、阻断阳台与主体结构热桥的连接构件、窗与墙体之间的防水密封材料、外墙保温系统中的专用系统配件等，因国内研发落后，至今尚无成熟的产品。有些因目前市场需求量小而导致供应量小、不但价高且难以购得，需要从国外进口或委托外资企业在国内的供应商进行专门加工定制，不但提高了建筑造价且与国外同等产品相比性能还略差。此外，由于分户式带热回收的新风系统在国内居住建筑

¹⁰ $Q=24\cdot\text{采暖天数}\cdot\text{耗热量指标}/\text{室外管网输送效率}\cdot\text{锅炉运行效率}$

中极少使用，因此与国外同类产品相比，技术研发比较落后，国内产品的性能和品质还需要进一步提高和完善。

2. 被动式房屋的设计、施工和检测力量比较薄弱

被动式房屋是新生事物，国内绝大部分设计单位都不具备专业知识和设计能力，本示范工程的设计机构也是从零开始，经过德国专家近一年的培训和指导才逐步掌握了设计要点。被动式房屋对于施工工艺和施工人员的操作水平要求很高，示范工程项目一开始也不适应，经过多轮培训和现场质量控制指导后才逐步提高。此外，被动式房屋竣工后需进行气密性检测，目前国内尚无相应的标准可供执行，有经验的检测机构和人员也很少。示范项目的气密性测试是通过德国专家的指导以及自身的摸索才完成的。今后要进一步发展被动式房屋，必须加强对设计、施工、监理和检测人员的培训，从根本上改变国内落后的施工工艺、粗放的现场施工管理，实现精细化的绿色施工。

（七）取得的经验

秦皇岛“在水一方”从方案策划、设计、施工到完工历经三年达到了预期目标。该项目之所以能够获得成功，总结起来有以下几点：

1. 有领导的高度重视

项目在部领导的关怀下，不但克服了影响的管理体制上问题，而且调动了各方面的社会资源支持。在部和省领导的重视下，该项目顺利地拿到了开工许可证，使项目得以顺利开工。当时公安部严格禁止有机材料作为外墙外保温材料，该项目上报科技司后，还是按照采用技术性能和性价比较好的 B1 级石墨聚苯板做外保温，岩棉环绕型防火隔离带的制定设计方案。尤其是姜伟新部长视察现场后，引起了社会的重视，获得了来自各方面的关注和支持。譬如：当时项目组不知道从哪找到满足性能要求的玻璃，上海耀皮、青岛享达主动前来说明他们可以提供；同方人工环境有限公司自担风险，为开发商研制带热回收的新风机组；开发商在没有做任何广告的情况下，获得了购房者青睐，销售情况良好。该项目获得了良好的经济效益和社会效益。

2. 有科技司的支持

姜部长“只许成功、不许失败”的要求，使项目组承受着巨大的心里压力。一方面如果失败，开发商将面临重大损失，另一方面会使“被动房”这一理念在中国遭受重大挫折。科技司主要领导不但指导具体工作，适时提出要求，而且还经常提醒鼓励大家团结一致，共同努力。在科技司的支持下，项目组申请到科技部国际科技合作项目 360 万元的科研经费。这笔经费，使项目组有了将被动式房屋向中国各个气候区推广的资金支持。在秦皇岛“在水一方” C15 楼获得成功后，科技司领导提出：在每个省的第一个项目“只准成功，不能失败”。

4. 有中德双方的紧密而良好的合作

部科技发展促进中心和德国能源署自 2007 年就开始了良好的合作，打下了坚实的基础。“被动式房屋”是外来概念，中国人面临着不会设计、不会施工、一些关键材料和产品在中国本土缺失。这些困难都在良好的合作下解决了。相比之下，德国能源署在俄罗斯同样推广被动房的建设，至今没有完成一个项目。

现在双方探索总结出怎样确保被动房成功的模式，怎样从设计、材料、施工、验收进行全面的质量控制。

4. 有开发商超强的执行能力

本项目能够取得成功与开发商超强的执行力分不开。2009 年，部科技中心和德国能源署在中国 7 个城市做巡演，秦皇岛五兴房地产公司是同意尝试被动式房屋两个开发商中的一个。王臻总经理曾当过大学老师，深信被动房是可以建得成的。他个人投入了全部的精力，不打折扣地执行每一个设计和施工要求，做错了，马上整改。譬如，选用的岩棉防火隔离带不符合性能要求，他要求立即更换；排水管的管箍装错了，立即返工等等。正是这种坚持不懈、一丝不苟的精神才能使该项目得以成功。

四、发展被动式低能耗房屋的重要意义

在中国大力发展被动式低能耗房屋对保证能源安全、应对气候变化和资源保护，以及能源产业结构的调整具有重要意义。

（八）发展被动式低能耗房屋是保障我国能源安全的重要手段

我国每年大约有 1000 万人口从农村进入城市，每年新建的城镇居住建筑超过 10 亿平方米，发展被动式低能耗房屋对降低建筑能耗总量具有重要意义。如果能使被动式房屋在新建房屋和既有建筑节能改造中占有一定比例，则有可能在城市化进程中实现对建筑能耗总量增长的有效控制，还可能使未来的采暖能耗总量比现在更低。

将北方采暖地区新建居住建筑建成被动式房屋，可以在 2050 年时节省 32 亿吨标煤，并将每年的采暖能耗增量控制在 120 万吨标煤以内。如果每年新增 5 亿平方米的北方城镇居住建筑执行 65% 的节能标准，则每平方米房屋采暖能耗 10 公斤标煤，每年至少新增采暖能耗 500 万吨标煤，那么到 2050 年北方采暖地区城镇居住建筑的采暖能耗将新增 2 亿吨标煤，累计新增能耗 41 亿吨标煤¹¹；如果将新建房屋建造为被动式房屋，则每平方米采暖能耗为 2.27 公斤标煤，每年新增采暖能耗 113 万吨标煤，那么到 2050 年建筑采暖能耗新增量仅为 4500 万吨标煤，累计新增能耗 9 亿吨标煤。

将北方采暖地区既有城镇居住建筑改造为被动式房屋，则到 2050 年这部分年采暖能耗可由现在的 2 亿吨标煤降低至 1800 万吨标煤。依据住房和城乡建设部科技发展促进中心对国内民用建筑的统计结果，2011 年北方采暖地区城镇居住建筑面积为 81 亿平方米，年采暖能耗为 2 亿吨标煤，单位面积建筑年采暖能耗为 24 公斤标煤。如果将其改造为被动式房屋，每年改造量不少于 2.1 亿平方米，到 2050 年时，这部分能耗可以降低至 1839 万吨标煤，累计少用 35 亿吨标煤。

¹¹2011~2050 年 40 年内新增采暖能耗的累积值。

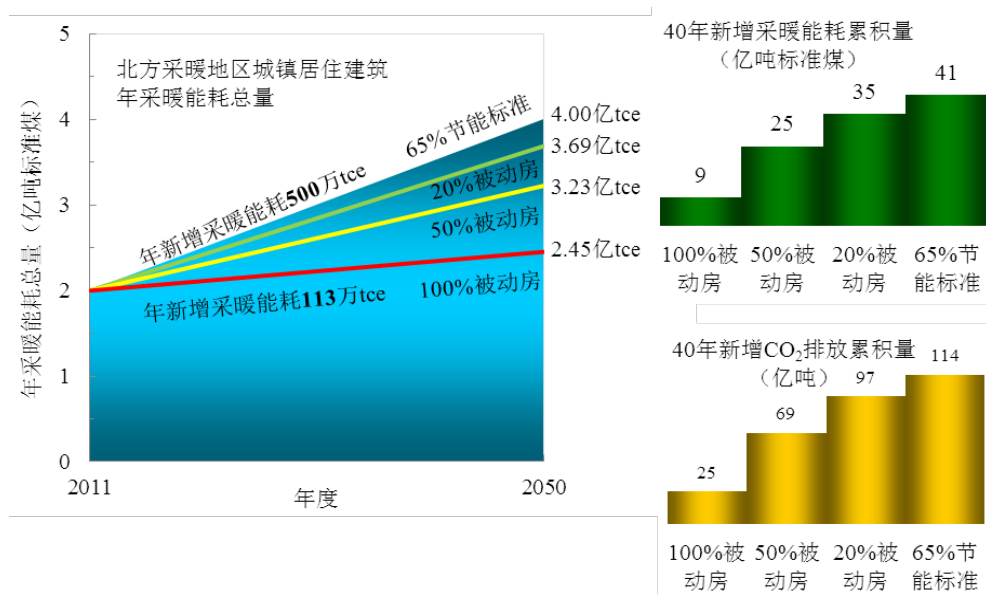


图 36:新建北方居住建筑按“被动式房屋”与执行“65%节能标准”建造的能耗与 CO₂ 排放量比较

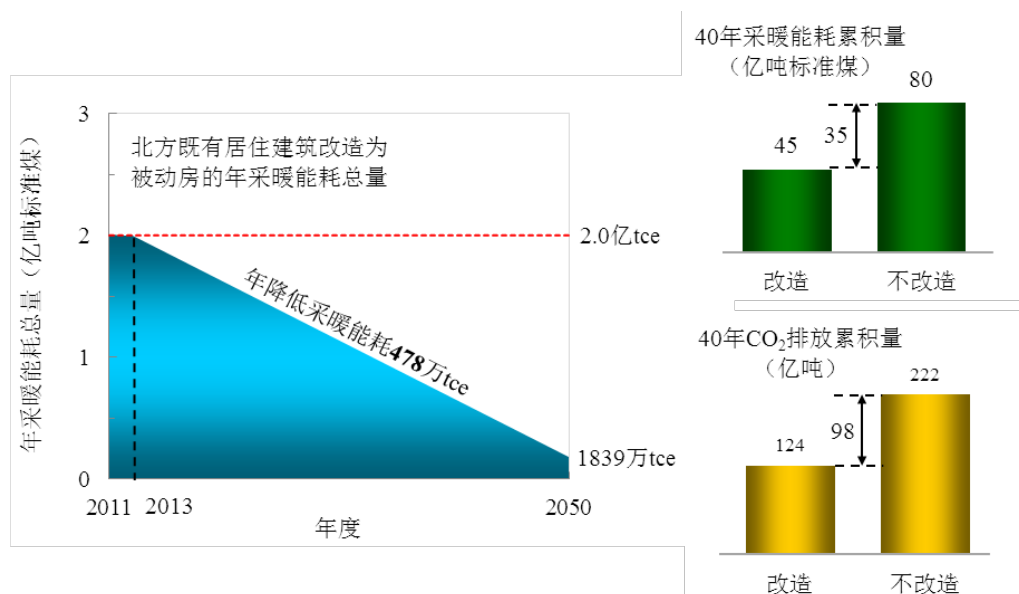


图 37:将北方既有居住建筑改造为被动式房屋的能耗与 CO₂ 排放量比较

被动式低能耗房屋由于采暖、制冷的能耗很低，再辅以可再生能源（如太阳能光伏、太阳能热水、生物质能等），就可以解决好房屋的照明、生活热水、炊事用能的需要，从而使房屋摆脱对化石能源的依赖。

被动式低能耗房屋在极寒、极热的气候条件下，需要一定的辅助加热、制冷手段，大多采取空气源、地源热泵等。与现有供暖方式中需要配备锅炉从而需要煤炭、天然气等化石能源不同，可以应用太阳能光伏发电、风电、生物质能等可再生能源，而且所需能源耗量很小，从而可调整我国的能源结构，降低对化石能源的依赖。

被动式房屋几乎不需要集中供暖设施，避免了每年冬季由于北方采暖带来的一些社会问题。譬如：每年冬季来临之前，冬季采暖用煤需求对我国的港口、铁路、公路造成了巨大的运输压力；

由于室内采暖温度不能满足 18℃而引起的居民不满；冬季采暖燃煤造成的温室气体排放和空气污染等。

（九）发展被动式低能耗房屋有助于缓解我国大气污染问题

中国现在是世界上经济发展速度最快的国家，同时也已经成为世界上每年因空气污染而致人死亡数目最高的国家。2012 和 2013 年冬季，我国中东部均出现了大范围的严重雾霾天气和空气污染，对民众的日常生活和健康造成了严重影响。河北、北京等地的空气污染物（特别是细颗粒物 PM2.5）严重超标，引发了民众的普遍关注。北方冬季的采暖燃煤是引起大气污染的重要原因。建造被动式低能耗房屋可大幅降低建筑采暖需求，从而显著降低北方冬季采暖燃煤污染物的排放，是治理大气污染的有效手段。

以北方居住建筑采暖为例，如果未来的新建房屋都按照被动式房屋标准建设，相比于执行 65% 节能标准，到 2050 年将累计减排 89 亿吨 CO₂；如果现有的 81 亿平方米既有建筑全面改造成被动式房屋，每年的改造量不少于 2.1 亿平方米，那么到 2050 年改造完成时，将累计减排 98 亿吨 CO₂，并可将这部分的 CO₂ 排放量由现在的年排放 5 亿吨降低至 5000 万吨。

表 13 重度污染大气条件下，不同区域 PM2.5 对情况

序号	地点	测试数据 ¹²	备注
1	售楼处四楼技术部	2200	4 人
2	售楼处四楼王总办	1800	1 人
3	售楼处一楼广场	3500	开放的公共区域
4	C15#楼东、南、西	4200-5500	距离楼 15M 左右
5	C15#楼二楼东室客厅	500-630	门窗密闭
6	C15#楼二楼东室厨房	500-540	门窗密闭
7	C15#楼二楼东室东南卧	630	门窗密闭
8	C15#楼二楼东室西南卧	590	门窗密闭
9	A 区 21#楼西侧 15M	3700-3900	开放的公共区域
10	A 区 21#楼 5 单元 902 室	1000-1300	门窗密闭
11	A 区 21#楼东侧丁字楼口	3250-3600	开放的公共区域

被动式房屋可以有效地缓解室内 PM2.5 造成的污染，可以在室外重度 PM2.5 污染条件下，使室内空气 PM2.5 达到可接受水平。

（十）发展被动式低能耗房屋可为夏热冬冷地区提供舒适的居住条件

我国广大的夏热冬冷地区属于非采暖区，不配备集中供热系统。但是这一地区冬季往往有 80 天左右低于 10℃，50 天左右处于 10~15℃。这一地区在冬季或者不采取任何取暖措施，或者偶尔开一下空调取暖；还有个别房屋配有空调采暖或集中供暖设施以保证冬季室温始终处于较舒适的状态。这一地区的房屋建造量占我国房屋总量的 50%左右。如为这一地区供暖有几个问题需要考虑：一是我国能源供给能否承受得起；二是南方房屋的气密性极差，采用集中供暖方式必然带来不必要的能源浪费；三是南方大多用电采暖，采暖的一次能源耗费并不比北方少；四是随着人们生活水平的提高，遏制冬季采暖几乎已不可能；五是必须改变南方冬季室内潮湿阴冷、四壁容易结露发霉的现象。图 38、图 39 是上海陆家嘴一位德国专家所住公寓的冬季室内结露现象。

¹²2013 年 11 月 8 日，北京、秦皇岛重度污染，项目组使用测试仪器 DYLOS DC1700 进行 PM2.5 测试。空气质量划分如下：3000+非常差、1050~3000 较差、300~1050 一般、150-300 好、75~150 很好、0-75 很好。



图 38:上海陆家嘴高级公寓冬季
天花板结露



图 39:上海陆家嘴高级公寓冬季
室内墙面结露

被动式房屋可以在没有供热设施的条件下，利用建筑物自然得热使室内温度达到 20℃ 以上。在这一地区建造被动式房屋，或将现有房屋改造成被动式房屋，可以妥善地解决以上一系列问题。秦皇岛“在水一方”被动式房屋，在室外-13℃时，室内仍能保持在 19℃ 以上，保证了室内环境的舒适度（图 40、41）。



图 40:外窗不受冷辐射影响



图 41:秦皇岛“在水一方”示范房

（十一）发展被动式低能耗房屋可带动建筑节能产业升级和转型

1. 传热系数 $K < 1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ 的外窗

被动式房屋门窗的传热系数必须达到 $K < 1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ 的要求，它是由 $K < 0.8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ 的 Low-E 玻璃和 $K < 1.3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ 的型材构成的。我国在二十多年前已经研制成功这种产品，但我国的普通房屋对此没有市场需求。随着被动式房屋的普及， $K < 0.8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ 的 Low-E 玻璃或真空玻璃和 $K < 1.3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ 的型材将会得到大范围推广应用。

1. 带有高性能热回收装置的新风系统

热回收效率大于 75% 的新风系统是实现被动式房屋必不可少的设备，但在我国这一行业几乎还是空白。目前我国已有学者从事这项研究，并在少量房屋中试点应用。随着被动式房屋的推广，这一行业将在中国得到发展壮大。

2. 高性能门窗密封材料

目前我国市场上的门窗密封材料耐久性差，这是造成我国门窗整体性能差的主要原因。被动式房屋对门窗抗风压性能、水密性、气密性的要求均属于我国国家标准的最高级别。被动式房屋要求门窗至少有三十年的耐久性，从而高性能门窗密封材料必将取代广泛使用的橡胶、金属密封条。

3. 防水隔汽膜和防水透汽膜

应用在门窗与外墙连接处的防水隔汽膜和防水透汽膜是保证房屋密封性能的关键材料。我国房屋中出现的门窗渗漏现象，大都与没有使用这种密封材料有关。目前我国在这一领域几乎还是空白，急需尽快发展相应的技术和产业。

4. 性能优良的外墙外保温系统

建造被动式房屋必须选择质量优良的外墙外保温系统。在即将建造的五個被动式房屋示范项目中，建设单位无一例外地采用了高性能的外墙外保温产品。常用的 EPS 板必须满足尺寸变形系数不大于 0.2%、B1 防火等级、遇火（包括电焊火花）不燃无烟气、无滴落物等要求。随着被动式房屋建设项目的发展，将会改变目前我国外墙外保温系统以低价恶性竞争的状况。随着用户需求的变化，只有生产出性能合格材料的厂商才可能生存。此外，欧洲市场上的绝大部分外墙外保温系统专用节点配件均由中国供应，但中国的外墙外保温工程目前几乎不采用这些配件，而使用这些配件正是保证房屋质量的有效手段。

5. 窗台护板和女儿墙扣板

窗台护板和女儿墙扣板是保护外墙外保温系统、保证外墙外保温寿命的重要部件，但目前在我国的外墙外保温工程中几乎都没有采用。我国生产产品的金属原材料全部出口欧洲，目前受欧盟反倾销影响，销路严重受阻。随着被动式房屋在中国的普及，这种材料必将得到广泛应用。

6. 生产高性能材料的原料工业

生产门窗密封材料、防水透汽膜和防水隔汽膜所需要的化工原料行业，生产窗台护板和女儿墙扣板所用的防锈金属、塑料、橡胶等原材料行业将会得到快速发展。

（十二）发展被动式低能耗房屋可显著提高室内舒适度水平，并延长房屋的使用寿命

被动式房屋不仅能耗低，而且其舒适度水平大大优于传统房屋。被动式房屋有良好的气密性和高效的新风热回收装置，杜绝了房屋的结露发霉现象，可终年保持室内温度为 20-26℃，室内温度超过 25℃ 的频率小于 10%，相对湿度保持在 40-60%。我国房屋中常见的结露、发霉、室内二氧化碳含量超标等现象将会受到遏制。

我国目前房屋的设计寿命仅约 70 年，这与房屋易受风雨侵蚀有很大关系。在我国现行的建筑相关标准中，对房屋的整体气密性没有提出要求，使得房屋外围护结构的漏雨现象多发。被动式房屋对房屋的气密性有严格的要求，使得房屋内部结构受到了较好的保护，免受风雨侵蚀，从而大大延长了房屋的使用寿命。德国目前正在将一些老旧房屋改造成被动式房屋，不但可大大改善人们的生活环境，而且这些房屋还可以很安全地再使用百年以上。这是节约资源、保护环境的一条有效途径。

五、关于下一步推广应用被动式低能耗房屋的建议

为了进一步做好对被动式低能耗房屋的示范和推广应用工作，提出以下工作建议：

（一）关于下一步推广应用被动式低能耗房屋的建议

1. 加强被动式低能耗房屋的技术研发

围绕被动式低能耗房屋的特殊技术需求，要研发拥有自主知识产权的新技术、新产品、新材料和新工艺，例如，被动式低能耗建筑系统的设计方法；高性能保温系统的施工及质量控制方法；断热（冷）桥设计技术；高质量的建筑材料与部件，包括保温材料与保温系统、高性能的外窗、密封材料、窗台护板和女儿墙扣板、防水隔汽膜和防水透汽膜、具有高效热回收功能的新风机组、通风管道等。

2. 扩大被动式低能耗房屋的示范规模

在不同气候区选取包括住宅、中小学校、办公楼等不同类型的房屋开展示范，选取积极性高、保障力强的城市开展区域成规模的被动式低能耗房屋示范，及时总结示范经验并在全国扩大推广。

3. 引导相关材料产品行业的发展，促进建筑节能材料与产品更新换代

通过被动式房屋的推广形成一定的市场规模，鼓励有积极性的企业开展研发与示范，引导国内相关产品升级换代，带动建筑节能材料与产品市场的发展。

4. 强化能力建设

编写被动式低能耗房屋培训的系统性教材，设计培训课程，开展针对设计、施工和监理、检测等技术人员的系统培训。特别要注重提高施工人员的技能，保证施工质量。探索建立被动式低能耗房屋的专题培训学校，培养我国被动式低能耗房屋的专门队伍。通过组织专题研讨会、技术经验巡讲等方式，加强对地方政府、开发企业、设计科研单位的宣传，扩大被动式低能耗房屋的影响。

5. 研究推动被动式低能耗房屋发展的激励政策

与财政主管部门协调，争取出台鼓励采用被动式低能耗房屋的财政激励政策，研究关于税收、土地、规划、容积率等方面的激励政策建议。鼓励有积极性的地方率先出台激励政策，鼓励更多的开发商建造被动式低能耗房屋。

6. 建立完善被动式低能耗房屋的技术标准体系

尽快完成河北省被动式低能耗居住建筑标准、标准图与施工工法，并以此为基础探索研究建立国家层面的标准、标准图和施工工法。

（二）关于政策方面的建议

1. 严禁在西藏、青海地区推广使用集中供暖

西藏、青海地区至今还是一方净土。随着生活条件的改善，希望生活工作环境有集中供暖设施已经成为这一地区的诉求。国家也投入巨额资金支持这一地区的基础设施的建设。西藏、青海地区太阳能资源丰富，完全有条件利用被动式房屋技术满足人们室内舒适度要求。建议国家把资金投入到被动式房屋建设过程中。对这一地区率先提出，无论是既有建筑改造还是新建建筑必须建成被动式房屋。

2. 严格限制在淮河以南地区推广使用集中供暖

我国广大的南方地区，尤其是长江流域的城市，对冬季供暖的呼声愈来愈高。上海、武汉等城市已经出现了集中供暖的高档居住小区。这种基础设施在这一区域的运行时间，每年仅有二个多月，不但耗费了大量基础设施投资，而且每年占用大量人力、物力资源。建议严禁在这一区域进行集中供暖的基础设施建设。鼓励有条件的地区制订被动式房屋的推广目标，到 2050 年前后将这一地区的建筑逐步建设成被动式房屋。

3. 提高既有建筑节能改造标准

我国正在逐步对居住建筑进行节能改造。目前的节能改造目标是按现行国家的节能标准进行的。德国专家提醒我们，不要走他们进行二次节能改造的老路，应一步改造到位。建议提高既有建筑节能改造标准，从现在的节能 65% 提高到被动式房屋。

4. 严格限制各新建供暖设施

为了满足新建建筑的需求，各地有大量基金投入到供暖设施的建设。建议严格限制各地的新建供暖设施，将投入到供暖设施的基金转入到支持推广被动式房屋领域。

5. 对建造被动式房屋给予政策支持

各地对被动式房屋建设应给给予政策支持。如对开发商提供容积率的计算以结构墙为准或提高容积率支持政策；对被动式房屋的购房人提供降低首付、低息贷款等等。

正 文

（具体内容请与基金会项目工作人员商定）