

秦皇岛“在水一方”被动房采暖季舒适度研究

胡莹¹ 赵静野²

(1.上海交通大学材料科学与工程学院, 上海 200240; 2.中国科学院力学研究所, 北京 100080)

摘要: 在 2012—2015 年采暖季内对秦皇岛“在水一方”C 区两间被动式房屋进行了生活测试, 主要考察指标有室内外温度相对湿度和 CO_2 浓度等。将测试数据与德国被动房屋居住舒适性要求和我国 65% 节能房屋标准进行对比分析, 结果表明“在水一方”的被动房屋基本满足德国被动房屋舒适性要求。

关键词: 被动式房屋; 居住舒适性; 室内温差; 室外温差

前言

1988 年, 德国达姆斯塔特房屋与环境研究所的 Mr. Wolfgang Feist 博士和瑞典隆德大学的 Mr. Bo Adamson 教授第一次提出了“被动式住宅”(Passive House)的理念。其内涵包括: 采用各种节能技术构造最佳的建筑围护结构。最大限度地提高建筑保温隔热性能和气密性, 使热传导损失和通风热损最小化; 通过各种被动式建筑手段以尽可能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的燃烧化石燃料的采暖和制冷系统的依赖或完全取消这类采暖和制冷设施。如建筑在冬季仅靠太阳辐射得热、室内设备和人体散热可以满足 90% 以上室内采暖需求, 剩余的采暖需求可通过引入带热回收的新风系统来满足, 从而大大降低一次能源的消耗。“被动式住宅”在建造之初, 并没引起世界范围内的广泛注意。但随着 2005 年世界能源价格再一次大幅上涨, “被动式住宅”以其低能耗甚至零能耗的独特优势, 才又一次引起了世界各国的高度关注。2009 年以后, “被动式住宅”已逐渐成为欧洲住宅节能技术的主流, 并被部分欧洲国家确定为国家住宅标准, 或未来城市发展方向。

目前, 被动式房屋在我国发展有以下几个问题。首先, 我国建筑节能起步较晚, 国家建筑节能标准水平要求较低, 提高的进程较缓慢, 一定程度上阻碍了低能耗建筑的快速发展。其次, 节能技术和建筑能耗水平与国外差距较大, 我国大部分低能耗建筑的能耗水平仅接近于德国 1995 年的《保温法规》, 低能耗建筑采用的双层中空玻璃窗工艺性能与国外相比, 还有一定差距。再次, 对低能耗建筑的发展也缺乏完善的经济激励政策, 低能耗示范项目在实施过程中还缺乏严格的质量监控及施工管理。与欧洲相比, 我国建筑项目实施速度过快, 施工和管理都较为粗放, 由此造成的后果是: 无论是设计阶段还是施工阶段, 都难以有效保证工程的高质量, 而高质量及细节控制正是低能耗建筑必不可少的前提条件。最后, 交付使用后, 节能建筑在运行过程中缺乏节能管理的意识和手段, 导致实际运行不节能。不过国内也有少数很有示范意义的被动式建筑, 如由清华大学江亿教授带领团地设计的清华超低能耗示范楼、中国普天信息产业上海工业园智能生态科研楼及 2010 年上海世博会中部分场馆。

1 工程概况

2009 年, 在住房城乡建设部建筑节能与科技司的促成和支持下, 住房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——低能耗建筑示范项目”。合作目标是在中国建造符合中国国情的被动式——低能耗建筑示范项目, 推动中国建筑节能深入发展。河北省秦皇岛市海港区的“在水一方”C 区被动房就是示范项目之一。

1.1 被动房外维护结构的主要技术措施

(1) 围护结构外墙外保温措施

“在水一方”C 区被动式房屋的外墙屋顶和地下室顶板都采用的是 HS-EPS 板, 厚度分别为 250mm, 300mm 和 150mm, 分户楼板之间采用的是 60mm 的挤塑板和 5mm 隔音垫, 在建筑每层外窗的上方, 均做了一圈 300mm 高的防火岩棉隔离带。

(2) 围护结构门、窗保温隔热做法外窗采用的是上海维卡 82 系列平开 PVC 塑料窗, 传热系数 $K=0.9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{k})$, 玻璃采用双面 Low-E 中空+惰性气体玻璃 (6+12Ar+6+12Ar+6) mm, 入户门选用被动房专用保温门, $K<0.9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{k})$ 。

(3) 围护结构气密性气密性是被动房的很重要的一项指标, 气密性方面, 要求做到穿外墙的各种管线、屋面排风烟道和排水立管, 电线管穿完电线后的入户管线等均采用密封胶带和密封胶封堵; 窗口、门口、填充墙交接处采用专用密封胶带封堵; 被动房专用的门窗与墙面连接固定处做防漏气密封处理。

(4) 隔热桥措施在门窗与结构相连处, 阳台、空调板与结构连接梁板处, 出屋面烟道, 排水通气管穿屋面楼板处, 空调、太阳能支架与墙面连接处等易产生热桥的部位均要做隔断热桥处理。

(5) 带热回收的冷暖空调万方数据被动房用户还配备一台与清华同方人工环境有限公司共同开发的空气源热泵热回收节能冷暖一体机, 该一体机集成了新风、换气、热回收, 制冷、制热全热回收功能, 其新风换气热回收效率大于 75%。

1.2 德国被动房与国内 65% 节能房屋各项技术参数比较

将德国被动房主要设计标准与国内 65% 节能房屋标准的各项参数进行比较, 见下表。

表 1 德国被动房与国内 65% 节能房屋各项技术参数比较

各项指标	德国被动房标准	国内 65% 节能标准 (>9 层)
屋面传热系数 $K[\text{w}/(\text{m}^2 \cdot \text{k})]$	0.15	0.45
外墙传热系数 $K[\text{w}/(\text{m}^2 \cdot \text{k})]$	0.15	0.45~0.6
不采暖地下室顶板传热系数 $K[\text{w}/(\text{m}^2 \cdot \text{k})]$	0.15	0.5
外门窗传热系数 $K[\text{w}/(\text{m}^2 \cdot \text{k})]$	0.8	2.35
体型系数限值	0.4	0.26
房屋气密性	$N50 \leq 0.6/\text{h}$	只对外门窗有要求
结构热桥处理	无结构热桥	无要求
室内温度	20℃~26℃	18℃
室内相对湿度	40%~60%	无要求
室内二氧化碳浓度	小于 1000ppm	无要求
废弃热量回收率	$\geq 75\%$	无要求
室内噪音控制	卧室 $\leq 30\text{dB}$ 起居室 $\leq 35 \text{ dB}$	卧室 $\leq 37\text{dB}$ 起居室 $\leq 45 \text{ dB}$

2 测试背景

室内温度、相对湿度、二氧化碳浓度和噪音是居住舒适性主要指标, 为验证“在水一方”被动房能否满足居住舒适性要求, 在 2013 年 1 月 15 日至 1 月 18 日及 2013 年 2 月 17 日至 4 月 5 日 (属于秦皇岛采暖季), 于被动式房屋 C 区 15 栋二层东西两室, 进行了生活测试, 即安排人员实际居住并测试相关数据。C 区 15 栋为地上 18 层地下一层的建筑, 其建筑面积为 6467 m^2 , 基地面积为 368 m^2 , 体型系数为 0.296, 一个单元, 设两部电梯, 一部楼梯, 共计 36 户。住宅楼采用钢筋混凝土剪力墙结构, 基础采用混凝土螺旋灌注桩承台结构。测试的二层东室面积为 132 m^2 , 西室面积为 135 m^2 , 东室有两名成年人居住, 西室有两名成年人一名儿童居住, 其楼上楼下没有人员居住。在测试阶段, 对室内外温度, 室内相对湿度、二氧化碳浓度, 高效热回收机组噪音及热回收效率, 送回风口风速及温度进行了测试和数据记录。

3 测试方法

及仪器本文主要研究被动房屋的居住舒适性, 为能准确获得被测房间室内外温度, 在 2013 年 1 月到 4 月期间, C 区 15 栋二层东西两室的每个房间及四层室外连廊均悬挂有精创记录仪 RC·600+, 该记录仪每间隔一个小时记录温度和湿度。其测温范围为 -40℃—120℃, 测温精度为 $\pm 0.5\text{℃}$, 测湿范围为 0%~99%RH, 建筑节能与绿色建筑测湿精度为 $\pm 3\%$, 可通过 USB 协议接口与电脑交换数据。测试室内的二氧化碳浓度和湿度使用的

是 Flank F7206 二氧化碳气体探测仪，探测仪放在东西两室，湿度测试范围为 0%–100%RH，精度为 $\pm 5\%$ RH，CO₂ 浓度测量范围为 0–9999ppm，精度为 $\pm 50\text{ppm}+5\%$ RDG，每一个小时记录测试数据，可通过 USB 协议接口电脑交换数据。另外，每天 7 点、12 点和 19 点也对室内温度、湿度、二氧化碳浓度、电表计量数据，空调机组运行状况进行手动记录。

4 测试数据及分析

4.1 一天 24h、时室内外温度测试数据及分析

为研究室外温度变化对室内温度的影响，在生活模拟测试期间选取室外温差较大的三天，分别是 2 月 23 日，3 月 3 日和 4 月 12 日，和室外温差较小的一天 2 月 25 日，将一天中室外温度变化与东室的东南卧室和西室的西南卧室室内温度变化进行比较。分别把这四天的室外温度和两个不同房间的室内温度在坐标轴中表示出来，其中横坐标是一天中的 24 小时，纵坐标单位是温度，如图 1 至图 4 所示。

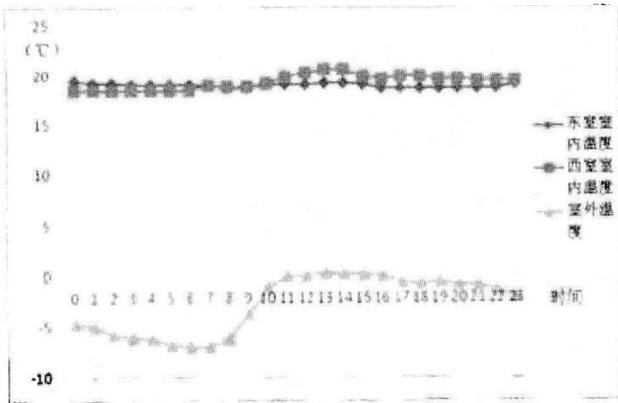


图 1 2 月 23 日室内外温度变化曲线

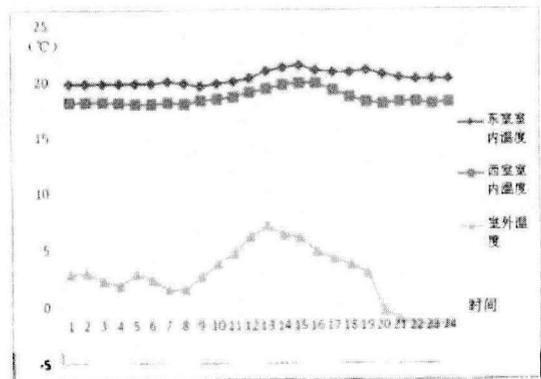


图 2 2 月 27 日室内外温度变化曲线

由图 1 可知，室外温度最大值为 0.3℃，最小值为 -7℃，温差为 7.3℃，东室室内温度最大值为 19.4℃，最小值为 18.6℃，温差为 0.8℃，东室室内温差为室外温差的 10.9%。西室室内温度最大值为 20.5℃，最小值为 18.4℃，温差为 2.1℃，西室室内温差为室外温差的 28.8%。

由图 2 可知，室外温度最大值为 7.1℃，最小值为 -1.6℃，温差为 8.7℃，东室室内温度最大值为 21.4℃，最小值为 19.6℃，温差为 1.8℃，东室室内温差为室外温差的 20.7%。

西室室内温度最大值为 19.8℃，最小值为 18℃，温差为 1.8℃，西室室内温差为室外温差的 20.7%。

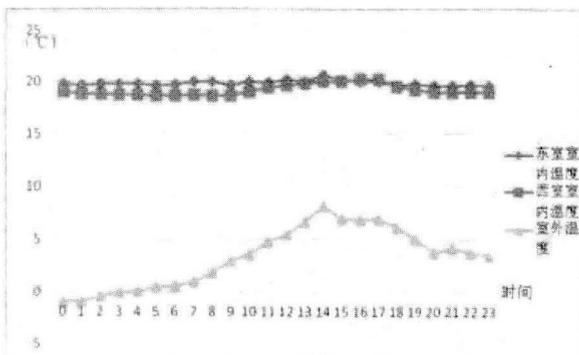


图 3 3 月 3 日室内外温度变化曲线

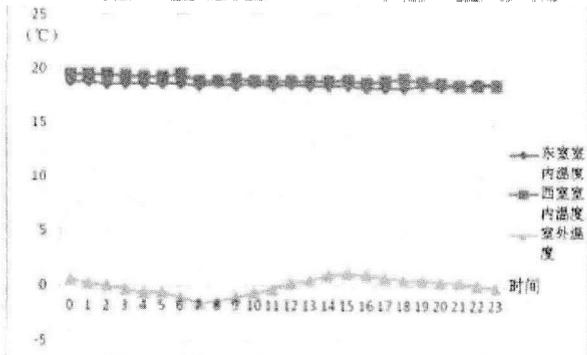


图 4 2 月 25 日室内外温度变化曲线

由图 3 可知，室外温度最大值为 8.2℃，最小值为 -0.9℃，温差为 9.1℃，东室室内温度最大值为 20.6℃，最小值为 19.6℃，温差为 1℃，东室室内温差为室外温差的 11%。西室室内温度最大值为 20.2℃，最小值为 18.6℃，温差为 1.6℃，西室室内温差为室外温差的 17.6%。

由图 4 可知，室外温度最大值为 1.1℃，最小值为 -1.6℃，温差为 2.7℃，东室室内温度最大值为 18.8℃，最小值为 18.2℃，温差为 0.6℃，东室室内温差为室外温差的 22.2%。西室室内温度最大值为 19.4℃，最小值为 18.4℃，温差为 1℃，西室室内温差为室外温差的 37%。

由图 1 至图 3 可知，在室外温差较大的三天中。东室室内温差分别是室外温差的 10.9%、20.7%，11%，

平均值为 14.2%，可见室外温度变化对室内温度影响不大。西室的分别为 28.8%，20.7%、17.6%，平均值为 22.3%，西室室内温度变化幅度比东室略高。在室外温差较小的 2 月 25 日，基数较小的情况下，东西两室的室内温度差也仅为室外温差的 22.2% 和 37%。由此可知，不论室外温差大或小，室内温度变化均不大，并始终稳定维持在 18℃ 至 21.4℃ 范围内，满足 GB50736—2012《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》中冬季舒适度为 II 级室内温度大于 18℃ 的要求。

4.2 14 天室内外温度变化数据及分析

根据西室手动记录的室内外温度数据，选取 2 月 14 日至 2 月 28 日间每天 9 点、12 点和 19 点的西室西南卧室的温度数据，绘制成图 5。

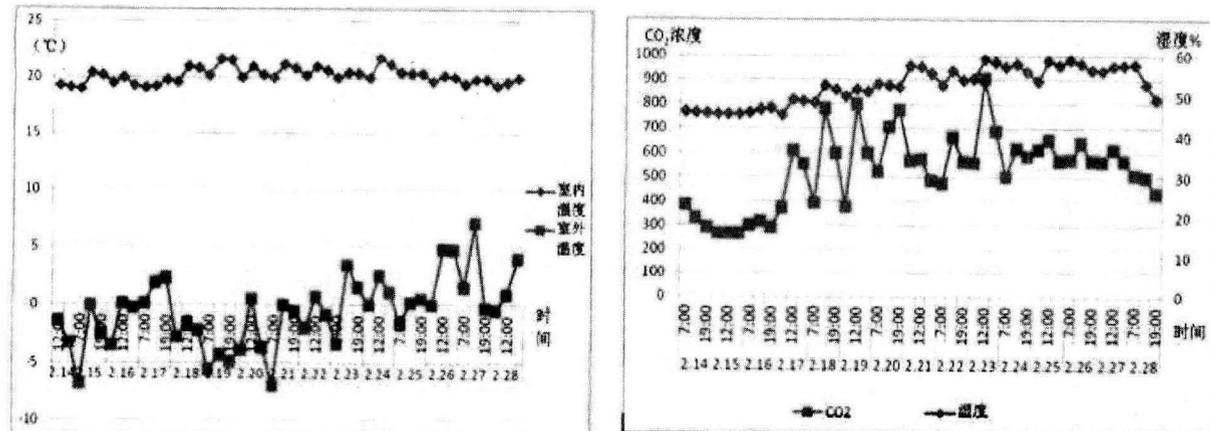


图 5 2 月 14 日至 2 月 28 日室内外温度变化曲线 图 6 2 月 14 日至 2 月 28 日东室客厅内外湿度及二氧化碳浓度变化曲线

由图 5 可知，室内温度最大值为 21.8℃，最小值为 19.0℃，温差为 2.8℃；室外温度最大值为 7.1℃，最小值为 -7℃，温差为 14.1℃，室内温差为室外温差的 19.8%，可见室内温度变化受室外温度影响较小。在这 14 天中，室内温度的最小值为 19℃，满足《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》要求。

4.3 14 天室内湿度 CO₂ 浓度测试数据及分析

选取 Flank—氧化碳探测仪在 2 月 14 日至 2 月 28 日所记录东室客厅的湿度及 CO₂ 浓度数据，绘制成图 6，在选取的 15 天中，空调机组的新风换气功能直开启。

由图 6 可知，在这 14 天中，室内湿度变化范围为 45% 至 59%，CO₂ 浓度最大值为 907ppm，满足国标 GB/T18883—2002《室内空气质量》中冬季采暖室内相对湿度为 30%—60%，室内 CO₂ 浓度小于 1000ppm 的要求，同时也满足德国被动房的设计要求。

4.4 噪音数据与分析

热回收空调机组安装在厨房橱柜内，机组内部有隔音降噪处理，在橱柜内侧也都贴有吸音海绵。在保持西室室内无其他噪音源的情况下，用手持分贝测试仪于机组一米处、主卧、次卧、书房测试机组在高中低不同三档下的噪音，测试结果如表 2 所示。

表 2 各房间噪音测量表

位置 \ 挡数	高档	中档	低档
机组前面 1 米	40	38	36
客厅	35	34	33
主卧	26	25	24
次卧	26	25	24
书房	29	27	26

由表 2 可知，客厅最大分贝数为 35dB，卧室最大分贝数为 26dB 满足德国被动房屋起居室小于 35dB，卧室小于 30dB 的要求。

5 冬季能耗分析

对照明、插座、空调新风机组分别用三块电表进行用电计量，选取东西两室 2013 年 2 月 17 日至 2013 年 4 月 5 日，共计 48 天的数据，实际用电量记录如表 3 所示。

表 3 被动房采暖季用电量统计

项目	二层东室用电量	二层西室用电量
插座	268.7	301.6
照明	85.4	34
空调	380.1	519.9

分别将三块电表记录的用电量折算成全年能耗,并按照每度电需要 360 克标准煤换算成一次能源消耗。其中空调新风机组的电表记录的是采暖和通风能耗。按照测试期间与 2012 年 10 月 25 日至次年 4 月 20 日的室外温度低于 20℃ 小时数之和的比例关系,推算至整个采暖期。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。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。结果如表 4 所示

表 4 被动房采暖季用电量及一次能耗统计

测试项目	东室测试结果	西室测试结果
家用电器、炊事和生活热水用电 kWh/(m ² .a)	15.47	17.11
家用电器、炊事和生活热水一次能源消耗 kWh/(m ² .a)	46.43	51.35
照明用电 kWh/(m ² .a)	4.91	1.93
照明一次能源消耗 kWh/(m ² .a)	14.41	5.79
采暖空调用电 kWh/(m ² .a)	5.04	9.16
采暖一次能源消耗 kWh/(m ² .a)	14.77	26.86
总一次能源消耗 kWh/(m ² .a) (不含夏季制冷通风)	75.31	84

测试结果表明秦皇岛被动式房屋,满足德国被动式房屋总一次能源消耗小于 120kWh/(m².a) 的要求,说明被动房屋在满足居住舒适性的同时,并没有以牺牲能耗为代价。

根据秦皇岛“在水一方”住宅的中德被动式低能耗建筑质量标识证书,秦皇岛被动房耗热量指标为 13kWh/(m².a),相对于秦皇岛 65% 居住建筑节能标准 45kWh/(m².a) 的要求,节约了 32kWh/(m².a),以东室为例,东室面积为 132m²,将一年节约的能耗指标乘以东室面积得到一年所节约的能耗为 4224kWh,同理等到相对于寒冷地区居住建筑节能标准,结果如表 5。

表 5 被动房节约能耗指标

各项指标	秦皇岛 65% 居住建筑节能标准	寒冷地区居住建筑节能标准
耗热量指标 kWh/(m ² .a)	45	40
秦皇岛被动房实测耗热量指标 kWh/(m ² .a)	13	
节约能耗指标 kWh/(m ² .a)	32	27
东室面积 m ²	132	
东室一年节约能耗 kWh	4224	3564

6 结语

秦皇岛“在水一方”C 区 15 栋被动式房屋不仅具有良好的气密性,且相比普通住宅,其高性能外保温维护结构及隔热桥措施可使通过被动房维护结构和漏风处散热量大大减少,故其采暖需求非常低。在采暖季内,依靠太阳辐射得热,房屋内人员散热及做饭烧水等日常活动所产生热量,可使室内温度维持在 18℃ 以上,若遇到极端严寒天气,开启带有高效热回收冷暖空调一体机进行辅助加热,即可使室内温度继续维持在 18℃ 以上,满足人体舒适度要求。冷暖空调一体机还可给室内注入加热的新风,使室内 CO₂ 浓度及相对湿度均维持在健康舒适的范围内。通过分析生活模拟测试的实验数据可知,在采暖季测试期间,东西两室室内温度受室外温度影响很小,且室内温度能够维持在 18℃ 以上,满足《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》和国内 65% 居住建筑

(下转第 90 页)



德国法兰克福项目



瑞士项目

图6 新立基公司部分工程项目示例图

4 总结

真空玻璃与中空玻璃相比具有综合性能优势,适于在绿色建筑的高端门窗中推广应用。中国真空玻璃产业在专利技术、产业化水平、推广应用方面居世界前列,应该受到足够的重视,希望政府及有关部门加大对真空玻璃产业化的支持力度。一方面要不断提高建筑节能标准,让节能产品真正的得以应用,一方面要加大对真空玻璃产业化的支持力度,使在中国建材行业中少有的领先技术得到更快的发展。真空玻璃作为玻璃深加工的新宠,在新一代的绿色建筑中也一定会得到更好的应用。

参考文献:

- [1]Thomas Braun. E-Lab-Musterhaus auf dem Killesberg Wohnform der Zukunft?(E-Lab 公司在斯图加特市的样板房是未来人们的生活方式吗?)[N]. STUTTGARTER-ZEITUNG.DE, 2014
- [2]被动式低能耗住宅示范项目“在水一方”河北·秦皇岛[J]. 绿色建筑, 2013
- [3]王宁,李洋,唐健正. 真空玻璃隔声性能分析[J]. 2011年中国玻璃行业年会暨技术研讨会论文集, 2011

(上接第97页)

节能设计标准。室内 CO₂浓度、相对湿度及各个房间噪音不仅能满足国内 65%居住建筑节能设计标准,且符合德国被动式房屋标准,由此可知,秦皇岛“在水一方”C区15栋被动房符合德国被动房屋居住舒适性的要求。

参考文献:

- [1]李昕,布里特玛丽·杨森. 欧洲被动式节能住宅的近期实践. 绿色建筑, 2011(3): 10—12
- [2]彭梦月. 欧洲超低能耗建筑和被动房的标准、技术及实践. 建设科技, 2011(5): 41—47, 49
- [3]栗德祥,周正楠. 解读清华大学超低能耗示范楼. 建筑学报, 2005(9): 16—17
- [4]江亿等. 综合节能应用研究——清华大学超低能耗示范楼实践. 房地产导刊, 2005(7): 44—45
- [5]张彤. 空间调节中国普天信息产业上海工业园智能生态科研楼的被动式节能建筑设计. 动感(生态城市与绿色建筑), 2010(1): 82—93
- [6]陶漪蓝. 被动式节能技术的运用与启示——基于对城市最佳实践区实物案例的考察. 绿色建筑, 2011(2): 47—50
- [7]陈湛. 被动式绿色建筑技术在世博建筑中的应用分析. in 第七届国际绿色建筑与建筑节能大会 2011: 北京
- [8]刘洋. 秦皇岛“在水一方”被动式房屋示范项目研究与实践. 建设科技, 2012(17): 78—79, 81
- [9]孙建慧. 中德被动式低能耗建筑示范项目——秦皇岛“在水一方”住宅楼技术研究. 建设科技, 2012(08): 56—58
- [10]GB50736—2012 民用建筑供暖通风与空气调节设计规范
- [11]GBT 18883—2002 室内空气质量标准