

## 1、项目名称

装配式钢结构住宅节能围护构件的关键技术与应用

## 2、推荐奖种

滨州市科技进步奖

## 3、项目简介

钢结构建筑因重量轻、抗震性能好、可循环利用，便于标准化设计、工厂化生产、装配化施工和信息化管理，成为建筑产业现代化的首选。目前制约钢结构住宅发展的关键因素为围护体系特别是外墙板。为解决传统建筑墙体湿作业多、施工效率低、污染严重、人工费用高、质量通病多、节能效果差等问题，研发了应用于钢结构体系的三明治式竹筋陶粒混凝土复合墙板，解决了复合墙板的设计与构造难题，研制了相应的生产工艺和制作设备，形成了系统的安装技术，实现了生态节能全装配，主要技术创新点如下：

（1）研发了竹筋陶粒混凝土复合墙板，通过拉拔试验研究和拟合分析，提出了竹筋陶粒混凝土的锚固长度公式；通过试验研究和数值模拟，并基于薄板弯曲理论及抗弯刚度相等的原则，建立了复合墙板的等效单层板抗弯设计方法；对竹筋陶粒混凝土复合墙板进行热工性能测试，并通过有限元分析找到影响热工性能的主要因素。

（2）通过试验与理论研究了钢丝桁架混凝土复合墙板的风振效应；建立了钢框架柱稳定极限承载力验算的改进二阶弹性设计方法，构建了复合墙板的抗震和抗风设计方法；建立了钢框架柱稳定极限承载力验算公式、以及考虑结构整体性的约束钢柱和考虑悬链线效应的约束钢梁抗火设计方法。

（3）构建了完善的装配施工技术；提出了带复合墙板钢框架抗震性能的设计方法与相应的节点构造；完善了复合墙板和钢结构连接的安装技术；研制了堆放和运输用橡胶垫块、吊具、带内丝套筒的墙板节点、半刚性柱脚节点等；实用构造和工器具。

## 4、客观评价

2017 年 5 月 21 日，滨州市科技局对“装配式钢结构住宅节能围护构件的关键技术与应用研究”成果进行了鉴定，专家组一致对项目形成如下意见：

（1）提交的鉴定材料齐全，内容翔实，符合技术成果鉴定要求。

(2) 本项目主要对钢丝桁架混凝土复合墙板的抗弯性能、振动特性、连接节点和抗震性能进行了深入研究,提出了钢丝桁架混凝土复合墙板的抗弯、抗震设计理论与方法,以及复合墙板与钢框架结构的节点连接构造与设计方法。

(3) 通过拉拔试验,提出了竹筋陶粒混凝土的锚固长度计算公式;通过对竹筋陶粒混凝土复合墙板的抗弯性能、热工性能进行系统研究,构建了竹筋陶粒混凝土复合墙板的抗弯设计方法和连接构造。

(4) 将钢丝桁架混凝土复合墙板和竹筋陶粒混凝土复合墙板应用于钢结构住宅,实现了建筑工业化的目标,取得了显著的经济、社会和环境效益。

综上所述,鉴定委员会一致认为,本成果在钢结构住宅复合墙板的设计理论和安装节点上有所创新,总体上达到了国际先进水平,其中在竹筋陶粒混凝土复合墙板技术方面达到了国际领先水平。

## **5、技术推广应用情况与社会经济效益分析**

本项目主要在滨州市和省内相关建材企业推广,滨州北海新区墙体材料革新和建筑节能办公室、山东万事达建筑钢品股份有限公司、山东明达建筑科技有限公司、山东瑞峰新型环保建材有限公司等运用滨州学院和山东大学开展的“装配式钢结构住宅节能围护构件的关键技术与应用研究”的研究成果,装配式钢结构建筑的复合墙板保温与结构同寿命,缩短工期约 60%,施工效率提高约 2 倍,现场人工减少约 70%,提高工厂化生产率 90%,质量通病降低 90%;环境污染降低 85%,节能 65%~75%,节省工程综合造价约 10%~15%,按每平方米工程造价 1000-1200 元计,单位建筑面积节支 100-180 元。该成果应用符合国家建筑节能减排相关政策要求,将促进全市建筑业装配整体化水平及技术变革,提高劳动生产效率,有利于推动全市乃至全省的墙材革新和建筑节能化进程。

从项目的应用情况来看,装配式钢结构住宅节能围护构件技术在建筑产业现代化中占有重要的地位,在节能、节水、生态与可持续发展方面成效显著。另外,随着人口红利的消失,大量的现场工人成为产业工人,实现就近就业,收入稳定,工作环境健康安全,生活水平提高,具有显著的社会效益。

将竹材引入新型建筑材料中并大力推广,不但能充分利用我国竹资源大国的优势,而且可创造大量围绕竹材的就业岗位。当装配整体式结构为主要方向的建筑产业现代化成为普遍选择时,数以亿计的建筑工人中绝大多数将变为产业工人,实现就地就近就业,每天能回家与家人团聚,享受天伦之乐。这种生产方式的改

变必然带动生活方式随之改变，进而思维方式也会发生变化。这些变化必将引发一场深刻的社会变革，从而使社会更为和谐，人民生活更为稳定，全市乃至全省综合实力也会逐步增强。

## 6、主要知识产权/代表性论文/论著目录

### 专利：

(1) 发明专利，侯和涛、周健、孙燕飞、吕忠珑、刘海宁、李晶晶，一种快速装配式集成化房屋及安装方法 ZL201410066325.X，2017 年 2 月

(2) 实用新型专利，侯和涛、陈璐、王丰平、李渤生、李金文，一种复合材料保温墙板 ZL201020240107.0，2011 年 2 月

(3) 实用新型专利，侯和涛、闫复华、韩颂新、郭玉、陈璐、邱灿星，预制混凝土复合墙板连接件 ZL201020694004.1，2011 年 9 月

(4) 实用新型专利，侯和涛、蓝如海、程佑东、贾元蓉、冯明远，装配式复合墙板与钢梁的连接节点构造 ZL201420831778.2，2015 年 6 月

(5) 实用新型专利，侯和涛、刘翔、仇锦、刘晓芳、冯明远、陈磊，用于钢框架的混凝土内框隔墙安装节点 ZL201620459024.8，2017 年 1 月

### 论文：

(1) Lu Chen, Hetao Hou, Guo-Qiang Li, 2010, Experimental investigations on flexural behavior of sandwich composite panels. Advanced Materials Research.

(2) Hetao Hou, Canxing Qiu, Minglei Wu, 2011, Analysis on hysteretic behaviour of steel frames infilled with energy-saving sandwich composite panels. Proceedings of the Third Asia-Pacific young researchers and graduates symposium.

(3) Hetao Hou, Canxing Qiu, Jing-feng Wang, Guoqiang Li, 2013, An experimental study on sandwich composite panel infilled steel frames. Advanced Steel Construction.

(4) 侯和涛，陈璐\*，李国强，马克峰. 轻质复合墙板的抗弯承载力试验与理论研究[J]. 钢结构,2010 (增刊),:676-684.

(5) 侯和涛，马克峰，李国强，陈璐. 钢丝桁架复合墙板抗弯及振动特性试验研究[J]. 广西大学学报:自然科学版,2011,36(1):53-58.

(6) 陈璐，吕忠珑，侯和涛. 钢结构住宅预应力混凝土叠合板（PK 板）现场抗弯

性能研究. 钢结构,2012,2:6-9.

(7) 侯和涛, 邱灿星, 李国强, 王静峰. 带节能复合墙板钢框架低周反复荷载试验研究[J]. 力学与工程应用,2012,9:177-184.

(8) 侯和涛, 陈璐\*, 孙燕飞, 吕忠珑. 竹筋陶粒混凝土的黏结性能[J]. 建筑材料学报,2013,8:592-598.

(9) 陈璐. 基于等效单层板理论的复合墙板挠度计算验证[J]. 山西建筑,2015,6:11-13.

(10) 陈璐. 竹材陶粒复合墙板的材性试验研究[J]. 四川水泥,2015,8:31, 47.

## 7、全部完成人排序及对项目的贡献

(1) **陈璐**, 讲师, 滨州学院, 对本项目创造性贡献:

对技术创新点(1)、(2)、(3)均有重要贡献。主持项目的总体研究工作, 负责开展了竹筋、陶粒混凝土的黏结滑移性能, 复合墙板的抗弯与抗剪性能, 带复合墙板钢框架结构的抗震性能, 钢框架柱稳定极限承载力验算, 以及复合墙板的工厂制作技术和现场安装技术的研究。设计了竹筋陶粒混凝土热工试件, 提出了复合墙板的等效单层板抗弯理论模型, 研发了复合墙板与钢框架的连接节点、半刚性钢柱脚节点, 并参与了复合墙板的制作与安装技术研究。

(2) **侯和涛**, 教授, 山东大学, 对本项目创造性贡献:

对技术创新点(1)、(2)、(3)均有重要贡献。开展了复合墙板的风振效应, 钢框架柱稳定极限承载力验算, 以及复合墙板的工厂制作技术和现场安装技术的研究。建立了框架柱改进的二阶弹性分析设计方法, 研发了复合墙板与钢框架的连接节点、半刚性钢柱脚节点, 明确了带复合墙板钢框架的初始刚度、抗震承载力和耗能能力, 并主要参与了复合墙板的制作与安装技术研究。

(3) **李建业**, 研究员, 滨州市工程建设质量监督站, 对本项目创造性贡献:

对技术创新点(3)有重要贡献。参与研发了复合墙板与钢框架的连接节点、半刚性钢柱脚节点, 并且参与了复合墙板的制作与安装技术研究, 将项目开发产品和技术推广至市内甚至省内相关建筑企业, 负责企业推广中关键技术方案论证、攻关组织工作, 协调相关企业和项目组成员的现场试验及应用工作。

(4) **邱灿星**, 讲师, 山东大学, 对本项目创造性贡献:

对技术创新点(2)、(3)均有重要贡献。开展了带复合墙板钢框架结构的低周反复荷载试验研究, 使用 ABAQUS/Standard 求解器模块对该结构体系进行了

非线性有限元分析，得到了较理想的模拟效果，提出了单压杆受力模型，即将复合墙板由一支等效桁架杆件所替代，并基于刚度等效的原则，给出了等效桁架杆件截面宽度的计算公式；参与研发了复合墙板与钢框架的连接节点形式。

（5）**郎东莹**，讲师，滨州学院，对本项目创造性贡献：

对技术创新点（3）有重要贡献。在该项目研究及推广应用中，负责与山东明达建筑科技有限公司及万事达公司进行技术对接和跟踪服务，以最大可能的实现其经济效益。参与了本项目施工技术设计，针对企业生产需要进行技术方案的编制、审定和质量措施的拟定，同时指导关键技术在现场的应用。

（6）**陈彬彬**，工程师，滨州市诚信建设工程检测有限公司，对本项目创造性贡献：

对技术创新点（3）有重要贡献。负责轻钢结构住宅示范工程建设期间，以及新型节能复合墙板技术和产品推广应用期间的质量检测和控制工作，协调生产期间的取样检测、质量检查、问题反馈，并参与现场关键技术如节点连接加固、工器具设计等的攻关。

（7）**张秀英**，高级工程师，滨州市诚信建设工程检测有限公司，对本项目创造性贡献：

对技术创新点（3）有重要贡献。负责装配式钢结构围护体系技术和产品推广应用期间的质量检测和控制工作，协调生产期间的取样检测和质量检查，并参与现场关键技术的问题反馈。

（8）**张玉平**，助教，滨州学院，对本项目创造性贡献：

对技术创新点（3）有重要贡献。在该项目研究及推广应用中，负责与山东瑞峰新型环保建材有限公司及山东明达建筑科技有限公司进行技术对接和跟踪服务，以最大可能的实现其经济效益。参与了本项目节点的技术设计，针对企业需要和已有生产设备的重要性能参数进行相关计算，同时根据现场试验情况及时改进性能参数。

## **8、全部完成单位及排序**

（1）滨州学院

（2）山东大学

（3）滨州市工程建设质量监督站

（4）滨州市诚信建设工程检测有限公司