

文章编号:1671-6833(2008)01-0070-04

复合结构住宅轻质墙体的节能研究

王新玲¹, 余兴华, 李娜

(郑州大学 土木工程学院, 河南 郑州 450001)

摘要:对复合结构住宅轻质墙体的板材及保温材料进行了选型分析.在此基础上,以某住宅单元为例,对维护结构的传热系数及热惰性指标进行了验算与分析,提出了复合结构住宅的外墙,可选用两块粉煤灰轻质墙板作为墙体材料,内夹聚苯乙烯泡沫塑料保温材料,可满足居住建筑新的节能标准65%的要求.同时,解决了外贴保温材料施工麻烦、强度要求高等问题.

关键词:新型结构体系;墙体节能;复合结构

中图分类号: TU 375

文献标识码: A

0 引言

众所周知,我国为一能耗大国,而建筑能耗占总能耗的27.8%^[1].目前我国正处于房屋建设的战略机遇期,正以前所未有的规模和速度建造高耗能建筑,这些高耗能建筑将在近百年的时间内大量消耗我国宝贵而稀缺的能源.因此,建筑节能设计成为我国现行建筑设计中的强制性要求.

一般情况下,建筑墙体的节能设计是在外墙面粘贴保温材料如聚苯乙烯泡沫塑料,由于强度较低,使建筑物的外墙装饰受到限制,而且建筑物较高时,在风荷载作用下还存在安全问题.

作者所研究的复合结构是由钢筋混凝土柔性柱、柔性梁和钢筋混凝土人字支撑(截面尺寸小于梁柱)组成的人字支撑新型结构代替原多层住宅中的粘土砖承重墙.对非承重墙体则采用不加支撑的柔性梁柱结构.

文献[2-5]对用于多层住宅的复合结构体系分别进行了计算分析^[2-3]、竖向荷载作用下的试验^[4]及水平低周反复荷载的试验^[5]研究.结果表明,复合结构满足住宅结构承载力和使用要求,符合现代设计理念.但是作为一种新型的住宅结构体系,必须对其配套体系进行研究,以期形成“小康型住宅建筑结构体系成套技术”,才能用于实际工程.笔者针对该复合结构墙体节能进行设计研究.

1 复合结构轻质墙体节能设计

1.1 居住建筑节能设计标准

《河南省居住建筑节能设计标准》^[6](简称《标准》)规定,居住建筑通过采用增强建筑维护结构保温隔热性能和提高采暖、空调、设能效比的节能措施,在保证相同室内热环境指标的前提下,与未采取措施前相比,采暖、空调能耗应节约65%.《标准》中规定,以传热系数和热惰性指标为标准来衡量居住建筑的节能能力,具体情况为:

对于条式建筑,当体形系数 $S \leq 0.30$ 时,外墙传热系数 $K \leq 0.85, D \geq 3.0$ 或 $K \leq 0.75, D \geq 2.5$;当体形系数 $0.30 < S \leq 0.35$ 时,外墙传热系数 $K \leq 0.75, D \geq 3.0$ 或 $K \leq 0.65, D \geq 2.5$.

1.2 复合结构轻质墙体形式的选择

1.2.1 复合结构(柔性梁柱加支撑)的墙体

复合结构合理柱截面是250 mm × 250 mm,优化的支撑截面的宽为120 mm^[3].所以,可使用厚度为60 mm的两块轻质墙板作为墙体材料,将复合结构的支撑夹在中间.同时,为了满足目前住宅墙体的节能设计标准,可以根据需要,在墙板之间加入保温材料,从而解决了外墙保温施工麻烦、材料强度不易满足要求等问题.

1.2.2 不加支撑的墙体

作为住宅纵向墙体,主要满足照明、通风、交通等要求,因此需开较大的门窗洞口,通常设计为

收稿日期:2007-09-24;修订日期:2007-11-31

基金项目:河南省自然科学基金项目(511050400);河南省教育厅自然科学研究项目(200510459055)

作者简介:王新玲(1963-),女,河南新乡人,郑州大学教授,博士,主要从事结构工程方向的研究, E-mail: xinling-wang@zzu.edu.cn.

非承重结构,仅采用梁柱结构而不加支撑即可。所以,其墙体既可以选择轻质墙板,也可以选择混凝土加气块或粉煤灰空心砌块等材料。

1.3 复合结构轻质墙体材料及保温材料的选型

1.3.1 轻质墙体材料的选型

复合结构的墙体材料必须是隔热性能好、强度高、抗震、隔音、节省能源、轻质、环保的板材。通过对 GRC 空气轻质墙板、泰柏板、岩棉板、轻钢龙骨双面石膏板及粉煤灰多孔轻质墙板的性能指标比较^[7],粉煤灰多孔轻质墙板不仅造价低,而且满足绿色环保的要求。所以,本文建议在复合结构墙体中使用粉煤灰多孔轻质墙板作维护结构。

当仅仅使用粉煤灰轻质墙板(不夹入保温材料)时,可分别由式(1)、(2)^[8]计算出主体部位的传热系数 K_p 和热惰性指标 D 。

$$K_p = \frac{1}{M_i + \sum \frac{\delta_k}{\lambda_k} + M_e} = 0.1993 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \quad (1)$$

式中: M_i, M_e 为内外表面热绝缘系数 $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$, 分别取 0.11, 0.04; δ_k 为第 k 层材料的厚度, m ; λ_k 为第 k 层材料的导热率, $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。

$$D = MS = 0.706 \times 3.00 = 2.12 < 2.5 \quad (2)$$

式中: M 为材料层的热绝缘系数 $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$; S 为材料的蓄热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。

由此看出,主体部位的传热系数 K_p 满足《标准》要求,但主体部位的热惰性指标,不满足《标准》的规定,须在墙板之间夹入保温材料。

1.3.2 保温材料的选型

由于夹在两块粉煤灰板之间,保温材料的强度、美观、防水等方面的要求为次要的选型因素,一般只要其传热系数、热惰性指标及轻质满足要求即可。表 1 为保温板材的性能指标对比。

表 1 保温板材的性能指标对比表^[8]

Tab. 1 The Performance index contrast of the heat preservation sheet materials

名称	密度 $/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	导热系数 $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	热惰性指标 (120 mm 厚)
岩棉板	80 ~ 200	0.054	1.836
玻璃棉板	80 ~ 200	0.054	1.836
乳化沥青珍珠岩板	300	0.11	2.316
聚苯乙烯泡沫塑料板	20 ~ 30	0.042	1.032

由表 1 可以看出,在复合结构墙体中夹入表中的任何一种板材,均能使复合结构墙体的热稳

定性达到《标准》要求,但岩棉板、玻璃棉板、乳化沥青珍珠岩板的密度较大,不满足轻质墙体的要求。因此,笔者建议选择聚苯乙烯泡沫塑料板(同优化后的支撑宽,取 120 mm 厚)。

由此,计算出夹入聚苯乙烯泡沫板的墙体主体部位的传热系数: $K_p = 0.269 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, 热惰性指标: $D = 2.12 + 1.032 = 3.152 > 3.0$, 满足《标准》要求。

2 复合结构轻质住宅的墙体节能验算

2.1 工程概况

以如图 1 所示的莱钢樱花园 4# 楼^[9]采用复合结构为例来进行验算。轴线 ① - ①, ② - ②, ③ - ③, ④, ⑤, ⑥, ⑦ - ⑦, ⑧ - ⑧, ⑨ - ⑨ 为承重结构,采用人字支撑复合结构;其余自承重结构,为不加支撑的钢筋混凝土梁柱结构;住宅层高取 2.9 m。

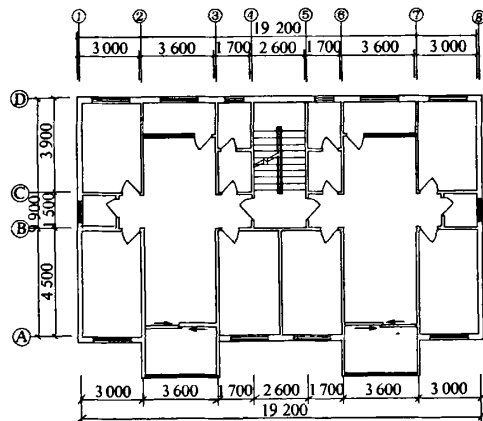


图 1 莱钢樱花园 4# 楼一个单元标准层平面图^[10]

Fig. 1 The standard floor plan unit of 4# building in Laigang Flowing Cherry Garden

该建筑为条式建筑,取住宅两个单元来计算,其体形系数 $S = 0.312$,外墙受周围热桥影响,其平均传热系数按式(3)计算^[6]:

$$K_m = \frac{K_p \cdot F_p + K_{B1} \cdot F_{B1} + K_{B2} \cdot F_{B2} + K_{B3} \cdot F_{B3}}{F_p + F_{B1} + F_{B2} + F_{B3}} \quad (3)$$

式中: $K_{m,p}$ 为外墙平均、主体部位传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; K_{B1}, K_{B2}, K_{B3} 为外墙周边热桥部位的传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; F_p 为外墙主体部位的面积, m^2 ; F_{B1}, F_{B2}, F_{B3} 为外墙周边热桥部位面积, m^2 。

2.2 外墙墙的墙体节能验算

外横墙 ① ~ ⑩ 为图 2 所示的复合结构,墙体采用厚度为 60 mm 的两块轻质墙板内填聚苯乙烯

泡沫塑料板。

主体部位的传热系数 $K_p = 0.269 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, 面积 $F_p = 22.81 \text{ m}^2$, 热桥部位的传热系数 $K_{B1} = 1.39 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, 面积 $F_{B1} = 5.38 \text{ m}^2$, 代入式 (3) 得: $K_m = \frac{K_p \cdot F_p + K_{B1} \cdot F_{B1}}{F_p + F_{B1}} = 0.48 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) < 0.75 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, 热惰性指标 $D = 3.152 > 3.0$, 符合《标准》的要求。

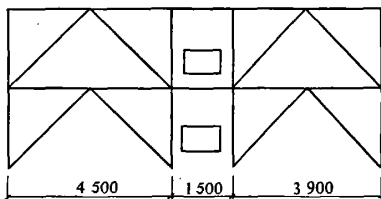


图2 轴线 A ~ D 复合结构布置图

Fig.2 The layout of new composite structure for axis A ~ D

但同时也可以看出, 此保温墙体的平均传热系数为主体部位传热系数 $0.269 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 的 1.5 倍, 即主体部位的保温效果虽然很好, 但由于热桥部位缺乏保温, 使这种墙体的总体保温效果大打折扣。因此, 笔者建议, 要想达到更好的保温效果, 可以在复合结构的梁和柱(热桥部位)上抹保温隔热砂浆。

2.3 外纵墙的墙体节能验算

根据结构平面布置, 图 1 所示的条式住宅单元, 其纵向可设计成梁柱不加支撑的自承重结构, 其墙体材料可以使用粉煤灰轻质墙板(与外横墙同), 也可以使用加气混凝土砌块。

窗是改善建筑热环境、降低能耗的关键, 《标准》规定, 条式建筑体形系数在 $0.30 \sim 0.35$, 对于北向(偏东 60° 到偏西 60°) 墙体, 当窗墙面积比 ≤ 0.25 时, 外窗传热系数应不超过 $2.8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; 当 $0.25 < \text{窗墙面积比} \leq 0.30$ 时, 外窗传热系数应不超过 2.3, 北向墙体的窗墙面积比不得超过 0.30。下面分别讨论墙体采用粉煤灰轻质墙板及加气混凝土砌块时墙体的节能。

2.3.1 使用粉煤灰轻质墙板(同横墙墙体材料, 热惰性指标 $D > 3.0$) 的墙体。

(a) 北向墙体 ① ~ ② 窗面积为 $1500 \text{ mm} \times 1200 \text{ mm}$, 窗墙面积比为 0.25; 要满足《标准》中外窗传热系数, 玻璃需选用三层中空玻璃(间隔宽度为 $2 \text{ mm} \times 9 \text{ mm}$), 外窗传热系数为 $2.2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ [9], 由此计算得: 墙体的平均传热系

数为 $K_m = \frac{K_p \cdot F_p + K_{B1} \cdot F_{B1}}{F_p + F_{B1}} = 0.51 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

$< 0.75 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, 符合《标准》的规定。

(b) 北向墙体 ② ~ ③ 窗面积为 $1800 \text{ mm} \times 1200 \text{ mm}$, 窗墙面积比为 0.24; 同理选用三层中空玻璃(间隔宽度为 $2 \text{ mm} \times 9 \text{ mm}$), 得墙体的平均传热系数为 $K_m = 0.49 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, 满足《标准》的要求。

(c) 北向墙体 ③ ~ ④, 其窗面积为 $900 \text{ mm} \times 1200 \text{ mm}$, 窗墙面积比为 0.28; 选用三层中空玻璃(间隔宽度为 $2 \text{ mm} \times 9 \text{ mm}$), 墙体的平均传热系数为 $K_m = 0.60 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, 满足《标准》的要求。

2.3.2 使用加气混凝土砌块的墙体

加气混凝土砌块的导热系数 $\lambda = 0.20 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, 用 240 mm 厚的加气混凝土砌块进行砌筑, 则其墙体传热系数 K_p 由式(1)得 $0.741 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, 玻璃选用同上。

(a) 北向墙体 ① ~ ② 的平均传热系数 $K_m = \frac{K_p \cdot F_p + K_{B1} \cdot F_{B1}}{F_p + F_{B1}} = 0.878 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) > 0.75 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。

(b) 北向墙体 ② ~ ③, 墙体平均传热系数 $K_m = 1.007 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) > 0.75 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

(c) 北向墙体 ③ ~ ④, 墙体平均传热系数 $K_m = 1.115 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) > 0.75 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

以上均不符合《标准》的规定, 须对该墙体进行保温隔热处理。可以外贴保温板材, 具体的保温材料厚度要根据不同材料的导热系数来确定, 例如, 选聚苯乙烯泡沫塑料的计算如下:

200 mm 厚的加气混凝土砌块的热惰性指标 $D_i = 3.0$, 所以 240 mm 墙体的总热惰性指标 $D > 3.0$, 仅满足《标准》规定:

$$K_m = \frac{K_p \cdot F_p + K_{B1} \cdot F_{B1}}{F_p + F_{B1}} \leq 0.75 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

即可, 由此可算出 $K_p \leq 0.58 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, 将其代入式(1)即得到保温材料厚度 $X \geq 1.4 \text{ mm}$, 即只须粘贴很薄的聚苯乙烯泡沫塑料板就可以满足要求。但为了便于施工, 取其厚度为 10 mm, 保温层构造如图 3 所示。则其主体部位的传热系数 K_p 由式(1)得 $0.283 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。

加气混凝土砌块外贴 10 mm 厚聚苯乙烯泡沫塑料, 主体部位传热系数为 $0.283 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, 与使用粉煤灰轻质墙板主体部位的传热系数 $0.269 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 很接近, 即起到相同的节能效

果,但外贴保温材料必须满足本身强度(如高层建筑)及外装修要求的强度条件,同时对施工要求亦较高。

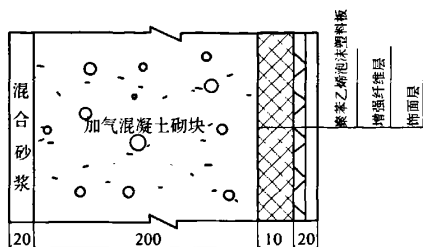


图3 加气混凝土砌块外墙保温构造图

Fig. 3 The heat preservation insulation constructional drawing of aerated concrete masonry exterior wall

3 结论

(1)复合结构可选用两块粉煤灰轻质墙板作为墙体材料,再在其中夹入满足热惰性指标、传热系数及轻质的保温材料,如聚苯乙烯泡沫塑料,其墙体主体部位可满足住宅墙体热稳定性要求。

(2)通过一住宅实例计算分析,复合结构住宅的外横墙、外纵墙采用粉煤灰轻质墙板内加聚苯乙烯泡沫塑料时,其墙体满足居住建筑新的节能标准 65% 的要求。

(3)外纵墙也可使用加气混凝土砌块,须在

墙外粘贴一层保温材料,使墙体满足传热系数及热惰性指标的要求。

参考文献:

- [1] 李曙光. 浅谈我国建筑节能现状与对策[J]. 应用能源技术, 2003, (1): 1-2.
- [2] 王新玲, 李明, 杨广宁. 多层住宅新型复合结构体系的结构选型分析[J]. 工业建筑, 2005, 35(1): 37-39.
- [3] 王新玲, 曹双寅. 多层住宅新型复合结构的 Pushover 分析及支撑优化[J]. 福州大学学报: 自然科学版, 2005, 33(增刊): 30-35.
- [4] 王新玲, 张海东. 多层住宅新型复合结构在竖向荷载作用下的试验分析[J]. 郑州大学学报: 工学版, 2005, 26(4): 5-8.
- [5] 王新玲, 赵更枝, 张海东. 多层住宅新型复合结构的抗震试验研究[J]. 土木工程学报, 2006, 39(8): 51-56.
- [6] DBJ41/071-2006. 河南省居住建筑节能设计标准(夏热冬冷地区)[S], 2006.
- [7] 苏迎社, 丁涛. 墙体材料新秀—GRC 轻质墙板[J]. 新材料·新产品·新技术, 2002, (08)期: 39-40.
- [8] 徐占发. 建筑节能技术实用手册[M]. 北京: 机械工业出版社.
- [9] 曲成平. H 型钢钢结构节能住宅建筑体系的综合评价[D]. 重庆: 重庆大学建设管理与房地产学院, 2004: 45-46.

The Energy - saving Research of the Wall of Compound Structures for Residential Building

WANG Xin - ling, YU Xing - hua, LI Na

(School of Civil Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: The lightweight wall plate and the thermal insulation material of the compound structures housing were selected. And then, taking a residence unit as an example, the heat transfer coefficient and thermal inertia indicator of the maintenance were checked and analyzed. A suggestion that two pieces of pulverized coal ash light quality wall plate be chosen as the outside wall of new compound structure residence with polystyrene foam plastics being inserted into two pieces of wall plates was proposed, and the new target 65% requirement of the residential energy - saving could be met. So the problems of the outer insulation materials complex construction and the higher request of strength can be solved.

Key words: new structural system; energy - saving wall; compound structure