

文章编号: 1000-4750(2012)Suppl II-0149-05

考虑插入式墙板抗侧作用轻型活动房有限元分析

袁 蕾¹, 姜忻良²

(1. 宁波工程学院建筑工程学院, 浙江, 宁波 315016; 2. 天津大学建筑工程学院, 天津 300072)

摘 要: 针对目前广泛使用的插入式墙板轻型活动房, 采用 ANSYS 软件对一典型活动房进行整体三维有限元分析。特别地, 在对插入式墙板与框架的协同工作原理进行探讨和分析的基础上, 提出一种分步叠加法实现了在考虑插入式墙板抗侧作用问题上的合理性和可行性, 意在进一步保证这类结构在经济情况下的安全性和可靠性。结果表明: 插入墙板后活动房的整体受力变形性能将获得极大改善, 但插入式墙板安装缝隙的大小对结构的受力有较大影响, 因此在采用更经济的构件截面的同时必须确保活动房的安装质量, 以保证墙板发挥预期的抗侧作用。

关键词: 空间结构; 三维有限元; 轻型活动房; 抗侧刚度; ANSYS

中图分类号: TU391 文献标志码: A doi: 10.6052/j.issn.1000-4750.2011.11.S053

FINITE ELEMENT ANALYSIS OF LIGHT MOVING HOUSE CONSIDERING LATERAL RESISTANCE EFFECT OF INSERTED WALLBOARD

YUAN Lei¹, JIANG Xin-liang²

(1. School of Civil Engineering, Ningbo University of Technology, Ningbo 315016, China;

2. School of Civil Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: The inserted wallboard light moving house is widely used at present. In this study, the three-dimensional finite element analysis of a typical moving house is performed. In particular, based on the analysis of the cooperative principle between the insert wallboard and frame, a step-by-step superposition method of considering the lateral resistance effect of inserted wallboard is developed. Therefore, the safety and reliability of the structure can be further ensured when the project budget is limited. The results show that the global force deformation performance of a light moving house is greatly improved after the wall panels are inserted, whereas the size of the installation gap greatly affects the structure stress. Therefore, accurate installations of a light moving house must be ensured when more economical member sections are employed to make the wallboard provide expected lateral resistance.

Key words: spatial structure; three-dimensional finite element analysis; light moving house; lateral stiffness; ANSYS

轻型活动房具有标准化设计、工厂化生产、适用性和机动性强等特点, 能够快速提供使用, 并且可以反复拆迁和架设, 无论在经济性还是实用性上, 均具有较大的优越性, 近年来被广泛使用于建筑工地以及抢险救灾现场等。随着需求的增加和要求的提高, 有必要对这类结构进行更为完善的计算

和分析, 以进一步保证轻型活动房在经济情况下的安全性和可靠性。

1 计算轻型活动房概况

某典型二层轻钢结构拼装式活动房, 如图 1 所示, 柱高 5.68m, 柱距 1.82m, 纵向 12 开间, 总长

收稿日期: 2011-05-15; 修改日期: 2011-10-21

通讯作者: 袁 蕾(1979—), 女, 浙江人, 讲师, 博士, 主要从事工程结构抗震、土结相互作用研究(E-mail: leilei_i@163.com).

作者简介: 姜忻良(1951—), 男, 浙江人, 教授, 博士, 主要从事结构与土动力相互作用与结构抗震的研究(E-mail: jiangxinliang@126.com).

21.84m, 横向 3 开间, 总长 5.46m, 每隔 3 开间设一道横向内隔墙。整体结构为框架-支撑体系, 立柱由两根 C 型钢组焊而成, 桁架式钢梁和屋架由槽钢和角钢焊接而成。钢梁和屋架通过其端部焊接的钢板与焊在立柱上的钢板通过螺栓连接组成横向框架, 纵向通过檩条、系杆、柱间支撑、水平支撑等构件连系形成稳定的空间结构体系。立柱柱脚与锚板焊接, 锚板通过螺栓固定在混凝土梁上。



图 1 某典型二层轻钢结构拼装式活动房

Fig.1 A typical two story light steel structure assembled moving house

2 插入式墙板抗侧作用的考虑

对于活动房这类轻型钢结构, 设计时一般由横向框架承担全部荷载, 通常不考虑围护板材对结构受力变形性能的影响^[1]。然而, 围护板材除了起到外围护墙或内隔墙作用外, 从受力角度来看, 当主体框架承受水平方向荷载作用时, 它也必定参与抵抗水平力。虽然轻型板材一般都较为“柔弱”, 但仍具有较大的平面内刚度, 加入墙板后的结构整体抗侧刚度将得到显著提高。文献[2]中的试验结果表明, 对于墙板与框架紧密结合的活动房, 墙板的存在极大地改善了结构的受力变形性能。然而, 一般拼装式活动房的墙板多采用插入式, 即先架设主体框架, 后插入墙板。由于墙板仅仅是插在两侧立柱的 C 型槽口内, 墙板与框架之间留有安装缝隙, 因此这类结构的受力变形性能既不同于纯框架, 也不同于墙板与框架紧密结合的情况。

假设墙板插入后与左右两侧立柱之间各留下宽度为 t 的安装缝隙, 如图 2 所示。在水平荷载作用下, 活动房整体将发生侧向变形。变形初期, 由于墙板与立柱之间存在缝隙, 主体框架独自承担抵抗水平力。随着变形的增加, 一侧立柱的最大侧移达到 t 时开始抵触到墙板, 但此时墙板仍是活动的。随后立柱推动墙板使其随之向另一侧移动, 当立柱的最大侧移达到 $2t$ 时, 墙板抵触到另一侧立柱, 此

时的墙板由于受到两侧立柱的禁锢, 抗侧刚度开始发生作用, 之后, 随着变形的进一步加大, 墙板与主体框架共同承担抵抗水平力。设最终柱顶最大侧移为 δ , 墙板实际侧移变形应为 $\delta - 2t$, 结构产生的总水平抗力为 R_g , 则有:

$$\begin{cases} R_g = k_f \delta, & \delta < 2t \\ R_g = k_f \delta + k_p (\delta - 2t), & \delta \geq 2t \end{cases} \quad (1)$$

其中, k_f 、 k_p 分别为主体框架和墙板的抗侧刚度。

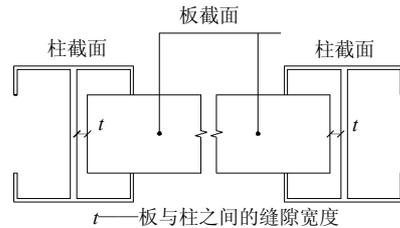


图 2 安装缝隙示意图

Fig.2 Installation gap diagram

而若墙板与框架是紧密结合的(即图 2 中 $t = 0$), 则在水平荷载作用下, 主体框架和墙板同时发生侧移变形, 墙板抗侧刚度从一开始就发生作用, 两者自始至终共同承担抵抗水平力。设最终柱顶最大侧移同样为 δ , 墙板实际侧移变形即为 δ , 结构产生的总水平抗力为 R_t , 则有:

$$R_t = k_f \delta + k_p \delta \quad (2)$$

比较式(1)、式(2)可以看出, 当活动房在水平荷载作用下发生同样的柱顶侧移 δ 时, 墙板与框架之间存在缝隙的情况下, 结构实际提供的总水平抗力 R_g 必然小于墙板与框架紧密结合时结构能够提供的总水平抗力 R_t , 且缝隙宽度 t 越大, 墙板实际提供的水平抗力越少。因此, 虽然考虑墙板抗侧作用对活动房进行空间计算较之传统的平面设计方法更为经济合理, 但计算时若按墙板与立柱紧密结合的形式建模, 忽略安装缝隙的存在对墙板参与抵抗水平力的影响, 结果可能偏于不安全。而若按实际墙板与立柱之间存在缝隙的形式建模的话, 计算又将变得十分复杂, 并且缝隙的变化情况以及力的传递情况也很难模拟。

为考虑安装缝隙对插入式墙板参与抵抗水平力的影响, 本文提出一种分步叠加法来对活动房进行整体有限元分析。上述墙板参与抵抗水平力的过程可分为前后两个阶段: 第 1 阶段(即 $\delta < 2t$ 时), 主体框架独自承担抵抗水平力; 第 2 阶段(即 $\delta \geq 2t$ 时), 由墙板和框架共同承担抵抗水平力。相应地, 将整个计算过程分为前后两步: 第 1 步, 建立活动

房主体框架模型施加部分荷载进行有限元分析,所加部分荷载大小以使立柱最大侧移达到 $2t$ 来确定;第2步,建立加入墙板后(墙板与立柱紧密结合)的活动房整体计算模型,施加剩余部分荷载进行有限元分析。最后,将前后两步的计算结果进行叠加,所得结果即为考虑了墙板抗侧作用并包含了安装缝隙影响的活动房整体有限元分析结果。

3 有限元模型

该计算轻型活动房主体框架构件均采用 Q235 冷弯薄壁型钢定型预制,外墙及内隔墙采用金属蒙皮夹芯板插在两侧立柱的 C 型槽口内,板厚 50mm,面材为 0.25mm 厚 Q235 铁皮,芯材为硬质聚氨酯泡沫。

建模采用大型 3D 仿真软件 ANSYS^[3-6],立柱、屋架弦杆以及檩条、系杆等构件,建模时选用梁单元 beam189 进行模拟,按其各自截面形式及尺寸自定义截面,并按实际强弱轴方向摆放建模;屋架腹杆、柱间支撑以及水平支撑等,建模时简化为铰接杆件,选用杆单元 link8 进行模拟,不考虑偏心对其受力的影响;墙板选用线性层结构壳单元 shell99 按面材、芯材定义每层材料特性和厚度进行模拟,墙板与框架之间假定是密合的,只能传递力而不能传递弯矩,通过耦合自由度的方式进行模拟。柱底作为固定端。建立的活动房主体框架有限元模型如图 3 所示,加上墙板后的整体有限元模型如图 4 所示。

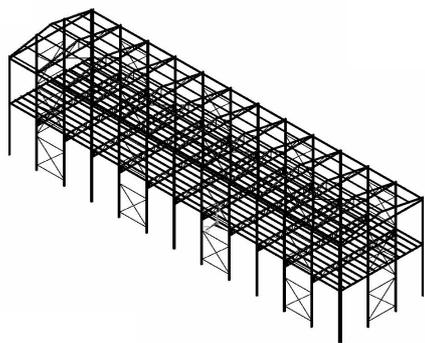


图 3 主体框架有限元模型

Fig.3 The main body frame finite element model

4 计算结果和分析

计算主要考虑结构自重,楼屋面恒活荷载以及风荷载^[7-9]。其中,恒荷载:屋面 0.2kN/m^2 ,楼面 0.3kN/m^2 ;活荷载:屋面 0.2kN/m^2 ,楼面 1.5kN/m^2 ;基本风压取 0.4kN/m^2 ,地面粗糙度按 B 类考虑,体

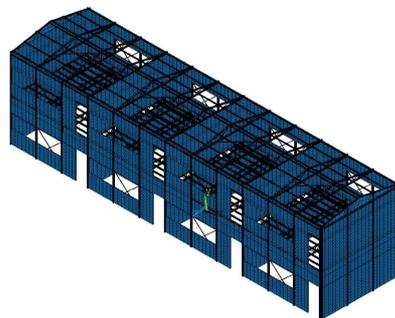


图 4 加上墙板后整体有限元模型

Fig.4 Whole finite element model coupled the wall plate 型系数按《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》(CECS102:98)取用。计算控制荷载组合为:自重+ $1.2\times$ 恒载+ $0.9\times 1.4\times$ (风荷载+活载)。

对各个构件分别采用 4 组不同壁厚的冷弯薄壁型钢进行计算,具体规格见表 1。其中第 1 组(2.5mm 组)构件截面为该活动房原设计截面。

按 3 种情况分别进行计算:第 1 种情况,不考虑墙板的抗侧作用(即纯框架),对分别采用上述 4 组截面的活动房主体框架模型施加全部荷载进行有限元分析;第 2 种情况,考虑墙板的抗侧作用,但不考虑墙板安装缝隙(即墙板与框架紧密结合),对分别采用 2.0mm 组、1.8mm 组及 1.5mm 组截面的活动房整体模型施加全部荷载进行有限元分析;第 3 种情况,考虑墙板的抗侧作用,并考虑墙板安装缝隙,采用分步叠加法对分别采用 2.0mm 组、1.8mm 组及 1.5mm 组截面的计算模型进行计算。第 1 步,对活动房主体框架模型施加全部竖向荷载及部分水平荷载进行有限元分析,所加部分水平荷载大小以使立柱最大侧移达到 $2t$ 来确定,缝隙宽度 t 分别取为 3mm、5mm 和 10mm;第 2 步,对活动房整体模型施加剩余部分水平荷载进行有限元分析;最后,将前后两步的计算结果进行叠加,所得结果即为考虑了墙板抗侧作用并包含了安装缝隙影响的活动房整体有限元分析结果。3 种情况计算所得活动房立柱的最大应力和最大柱顶侧移结果见表 2。

根据计算结果,若按仅由主体框架承担全部荷载进行设计,只有采用 2.5mm 组截面(即原设计截面)时才满足强度要求,而采用另外三组较小的截面时,最大应力均已超出 Q235 钢的屈服强度。而考虑墙板的抗侧作用后,结构的受力变形性能获得明显改善,立柱最大应力和最大柱顶侧移均大幅度减小,以墙板与框架紧密结合时 2.0mm 组截面的计算

结果来说, 分别从 276MPa 和 59mm 减小到了 131MPa 和 13mm, 降幅分别达到了 53%和 78%,

而即使采用最小的 1.5mm 组截面, 若能保证墙板与框架的紧密结合, 也能满足强度要求。

表 1 构件采用的型钢类别及其截面规格

Table 1 Component adopts steel categories and sectional specifications

构件名称	型钢类别	第 1 组截面(2.5mm 组)	第 2 组截面(2.0mm 组)	第 3 组截面(1.8mm 组)	第 4 组截面(1.5mm 组)
立柱	C 型钢	C80×40×15×2.5	C80×40×15×2.0	C80×40×15×1.8	C80×40×15×1.5
屋架弦杆	槽钢	[80×40×2.5	[80×40×2.0	[80×40×1.8	[80×40×1.5
屋架腹杆	角钢		L30×3		
楼面檩条	C 型钢	C80×40×15×2.5	C80×40×15×2.0	C80×40×15×1.8	C80×40×15×1.5
屋面檩条	C 型钢	C60×30×10×1.5	C60×30×10×1.5	C60×30×10×1.5	C60×30×10×1.5
柱间、水平支撑	角钢		L40×3		

表 2 立柱最大应力及最大柱顶侧移

Table 2 The maximum stress and the maximum column top lateral displacement

截面组	计算模型	立柱最大应力/MPa			立柱最大柱顶侧移/mm			
2.5mm 组	纯框架	222			49			
	纯框架	276			59			
	墙板与框架紧密结合	131			13			
2.0mm 组	采用分步叠加法	缝隙宽度 t	第 1 步	第 2 步	叠加	第 1 步	第 2 步	叠加
		3mm	94	77	171	6	11	17
		5mm	116	69	185	10	10	20
		10mm	162	55	217	20	8	28
		纯框架	306			64		
1.8mm 组	采用分步叠加法	墙板与框架紧密结合	144			14		
		缝隙宽度 t	第 1 步	第 2 步	叠加	第 1 步	第 2 步	叠加
		3mm	103	86	189	6	12	18
		5mm	125	78	203	10	11	21
		10mm	173	63	236	20	9	29
1.5mm 组	采用分步叠加法	纯框架	366			74		
		墙板与框架紧密结合	171			15		
		缝隙宽度 t	第 1 步	第 2 步	叠加	第 1 步	第 2 步	叠加
		3mm	121	105	226	6	14	20
		5mm	144	97	241	10	13	23
10mm	193	80	273	20	10	30		

同时由表 2 中计算结果可以看出, 采用分步叠加法考虑墙板安装缝隙的影响后, 得到的立柱最大应力及最大柱顶侧移结果均要大于墙板与框架紧密结合情况下计算得到的结果, 且缝隙宽度 t 越大, 结果相差越多。以最小的 1.5mm 组截面来说, 当墙板与框架紧密结合时, 立柱最大应力在加上墙板后从纯框架时的 366MPa 减小到 171MPa, 满足强度要求, 而考虑墙板安装缝隙的影响后, 当缝隙宽度 t 依次取为 3mm、5mm 和 10mm 时, 立柱最大应力分别增大到 226MPa、241MPa 和 273MPa, 后两者均已超出 Q235 钢的屈服强度。

5 结论

本文对轻型活动房插入式墙板与框架的协同工作原理进行了探讨和分析, 在此基础上提出了一

种分步叠加法来考虑插入式墙板的抗侧作用。采用 ANSYS 软件对一典型轻型活动房进行了整体三维有限元分析, 分别按不考虑墙板的抗侧作用(即纯框架), 考虑墙板的抗侧作用, 但不考虑墙板安装缝隙(即墙板与框架紧密结合)以及考虑墙板的抗侧作用, 并考虑墙板安装缝隙(即采用分步叠加法)进行计算。

计算结果表明, 即使考虑墙板安装缝隙的影响, 但由于板的活动范围有限, 墙板的存在还是极大改善了整体结构的受力变形性能, 这也从文献[10]的试验结果获得证实, 即插入墙板后活动房的整体刚度大大增强, 承载能力显著提高。因此, 通常采用的只考虑主体框架承担全部荷载的设计方法偏于保守, 构件截面尚存在较大的富余承载力, 易造成材料上的浪费, 更理想的设计方法应该

考虑插入式墙板的抗侧作用。但由于插入式墙板安装方式的特殊性,其与主体框架形不成整体结构,若按不考虑墙板安装缝隙进行计算,结果偏于不安全。而本文提出的分步叠加法既能考虑插入式墙板的抗侧作用,又能兼顾安装缝隙的存在对墙板参与抵抗水平力的影响,实现了在考虑插入式墙板抗侧作用问题上的合理性和可行性,可以更好地保证结构在经济情况下的安全性和可靠性。通过计算可以发现,插入式墙板安装缝隙的大小对结构的受力有较大影响,因此,在采用更经济的构件截面的同时应确保活动房的安装质量,将墙板的安装缝隙控制在一定范围内,以保证墙板发挥预期的抗侧作用。

参考文献:

- [1] 轻型钢结构设计手册编辑委员会. 轻型钢结构设计手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
Light Steel Structure Design Manual Editorial Board. Light steel structure design manual [M]. Beijing: China Building Industry Press, 2006. (in Chinese)
- [2] 冯远红, 黄光宏, 杨柳, 等. 扩展集装箱式活动房结构受力有限元分析[C]. 第 16 届全国结构工程学术会议论文集(第 I 册). 北京: 《工程力学》杂志社, 2007: 227—230.
Feng Yuanhong, Huang Guanghong, Yang Liu, et al. Finite element analysis of the extendable container mobile house [C]. Proceedings of the 16th National Conference on Structural Engineering (No.I). Beijing: Engineering Mechanics Press, 2007: 227—230. (in Chinese)
- [3] 王新敏. ANSYS 工程结构数值分析[M]. 北京: 人民交通出版社, 2007.
Wang Xinmin. ANSYS numerical analysis of engineering structures [M]. Beijing: China Communications Press, 2007. (in Chinese)
- [4] 李围. ANSYS 土木工程应用实例[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007.
Li Wei. Application examples of ANSYS in civil engineering [M]. Beijing: China Water & Power Press, 2007. (in Chinese)
- [5] Sarawit A T, Kim Y, Bakker M C M, Pekoz T. The finite element method for thin-walled members-applications [J]. Thin-Walled Structures, 2003(41): 191—206.
- [6] 申世元, 葛学礼, 朱立新, 尹保江. 拼装式轻钢活动房结构安全分析及改进意见[J]. 工程抗震与加固改造, 2006, 28(2): 65—68.
Shen Shiyuan, Ge Xueli, Zhu Lixin, Yin Baojiang. The analysis of safety and suggestion of improvement about building assembled with light-steel structure [J]. Earthquake Resistant Engineering and Retrofitting, 2006, 28(2): 65—68. (in Chinese)
- [7] GB 50009-2001, 建筑结构荷载规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
GB 50009-2001, Load code for the design of building structures [S]. Beijing: China Architecture Industry Press, 2006. (in Chinese)
- [8] GB 50018-2002, 冷弯薄壁型钢结构技术规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2002.
GB 50018-2002, Technical code of cold-formed thin-wall steel structures [S]. Beijing: China Planning Press, 2002. (in Chinese)
- [9] CECS 102:2002, 门式刚架轻型房屋钢结构技术规程[S]. 北京: 中国计划出版社, 2003.
CECS 102:2002, Technical specification for steel structure of light-weight buildings with gabled frame [S]. Beijing: China Planning Press, 2003. (in Chinese)
- [10] 晁新强, 郝际平, 向往, 等. 某轻型铝合金活动房试验研究[J]. 工业建筑, 2007, 37(增刊): 712—714, 706.
Chao Xinqiang, Hao Jiping, Xiang Wang, et al. Experimental investigation on a moving aluminium alloy house [J]. Industrial Construction, 2007, 37(Suppl): 712—714, 706. (in Chinese)