

# Mechanical Properties Calculation and Techno-Economic Comparative Analysis of Various Structural Systems

Jianxiong Li, Dan Gao, Fei Meng, Zhenfang Lu, Shengzhan Shi

Civil Engineering Institute, Inner Mongolia University of Technology, Hohhot Inner Mongolia  
Email: ljxnmg@126.com

Received: Apr. 11<sup>th</sup>, 2020; accepted: May 1<sup>st</sup>, 2020; published: May 8<sup>th</sup>, 2020

---

## Abstract

In 2005, the Fifth Plenary Session of the 16th Central Committee put forward the concept of new rural construction. To build a new rural area, we need to speed up infrastructure construction, create a good ecological environment, and solve the housing problem of farmers. In this paper, based on a practical engineering case, the static performance of CL structure system, steel-concrete composite structure system and light steel light concrete structure system is calculated by SAP2000 finite element software, and the displacement and stress conditions are compared and analyzed. At the same time, the construction period and total project price are compared and analyzed. The results show that the light steel and light concrete structure system is the most suitable one to be popularized in the new rural construction.

## Keywords

Finite Element Analysis, CL Structure System, Steel-Concrete Composite Structure System, Light Steel and Light Concrete Structure System

---

# 多种结构体系力学性能计算与技术经济对比分析

李建雄, 高丹, 孟斐, 卢振方, 时圣占

内蒙古工业大学土木工程学院, 内蒙古 呼和浩特  
Email: ljxnmg@126.com

收稿日期: 2020年4月11日; 录用日期: 2020年5月1日; 发布日期: 2020年5月8日

## 摘要

2005年十六届五中全会提出新农村建设这一概念,建设新农村,就要加快基础设施建设,营造良好的生态环境,解决广大农民住房问题。本文基于某实际工程案例,通过SAP2000有限元软件对CL结构体系、钢-混凝土组合结构体系及轻钢轻混凝土结构体系进行整体结构静力性能计算,对比分析位移和受力情况,同时对工期、工程总价进行对比分析。结果表明轻钢轻混凝土结构体系是最适宜在新农村建设中推广使用的建筑结构体系。

## 关键词

有限元分析, CL结构体系, 钢-混凝土组合结构体系, 轻钢轻混凝土结构体系

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

我国城市建设与农村发展两极分化较为严重,农村经济发展普遍滞后。2005年我党在十六届五中全会提出建设社会主义新农村,加快农村经济发展,改善农村生活环境,提高农民生活质量。2011年基于新农村建设,国家印发《农村住房建设技术政策(试行)》中提出解决农民住房问题是建设新农村的重要内容之一。过去农村经济落后,基础设施薄弱,农民住宅多为农村自建房,房屋结构性能差,存在安全隐患。所以建设新农村,解决农民住房问题,首先要保证房屋质量安全。其次在保证房屋质量安全的同时降低房屋造价,减轻农民经济负担。本文就CL结构体系、钢-混凝土组合结构体系及轻钢轻混凝土结构体系进行整体结构静力性能分析和技术经济分析,探讨分析适宜在新农村建造的结构安全性能好、造价成本低的房屋结构形式。

## 2. 工程概况

本工程为内蒙古呼和浩特市生态农庄项目,建筑为二层独栋小别墅。本工程各类特征如下:层数为2层,建筑高度为8.2 m,两坡水上人屋面。首层建筑面积为102.64 m<sup>2</sup>,建筑总建筑面积为205.29 m<sup>2</sup>,使用年限为50年,建筑结构安全等级为2级。建筑平面布置图如图1所示。

本文采用三种结构体系进行分析对比,分别如下:CL结构体系是轻质复合框架剪力墙结构体系。其承重结构由CL复合剪力墙体、框架梁、CL楼盖等构成。CL墙体由CL网架板浇筑混凝土形成,CL网架由钢筋网架夹以70 mm厚聚苯板后用三维斜插钢筋焊接而成,偏心放置,内侧现浇50 mm厚C30混凝土,外侧现浇100 mm厚C30混凝土。构造柱承重并连接墙体,同时与框架梁共同形成框架结构。屋面板同样采用CL复合结构,中心放置钢筋网架和100 mm厚聚苯板保温层,两侧现浇50 mm厚混凝土。

钢-混凝土组合结构体系是由钢材和混凝土两种不同性质的材料组合在一起共同作用的新型框架结构形式,其承重结构由钢管柱、工字型钢及钢混凝土组合梁构成。框架柱由方钢管内灌C30混凝土构成,跨度较大的梁采用工字型钢梁,其余框架梁为双C型钢混凝土梁,即梁两侧采用薄壁C型钢,中间灌C30混凝土形成,楼板、屋面板为现浇钢筋混凝土构件。

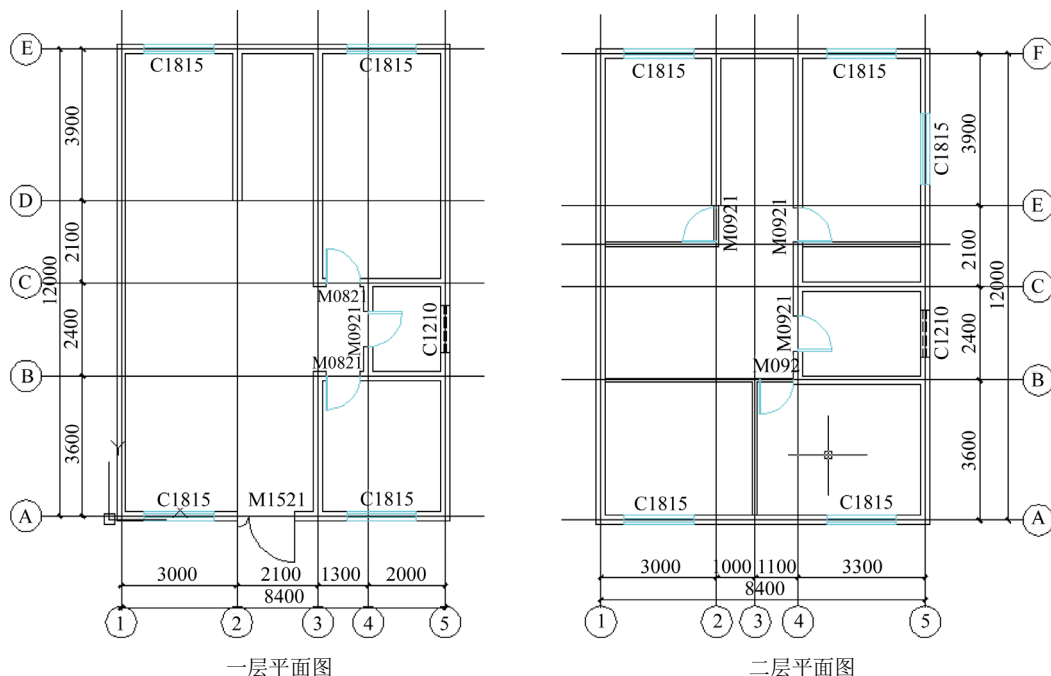


Figure 1. Building layout plan  
图 1. 建筑平面布置图

轻钢轻混凝土结构是由轻型钢材和轻质混凝土两种不同性质的材料组合而成共同作用的新型轻钢龙骨框架装配式结构。该结构由冷弯薄壁 C 型钢通过自攻螺丝连接形成龙骨框架，如图 2 所示，龙骨两侧挂扩张网模，扩张网模为免拆网膜，网膜开洞浇筑筑粒混凝土形成。如图 3 所示。

### 3. 结构分析

#### 3.1. 结构位移分析

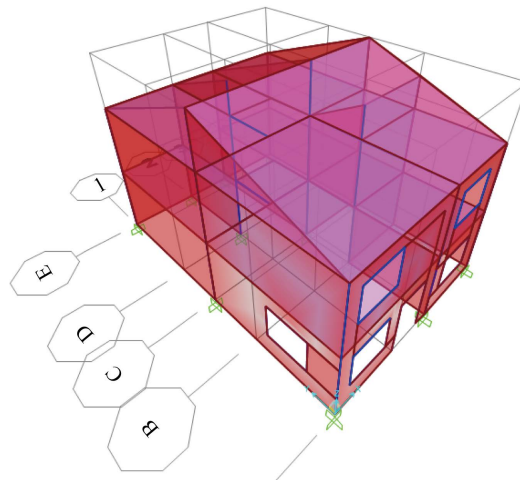
建立模型时采用相同的结构平面，标准层也全部一致，结构承重构件布置依据结构类型略有不同，但所承受的外部荷载尽可能接近，从而使分析结果的可能性增加。依据建筑图，采用 SAP2000 有限元模拟软件分别建立 CL 结构体系模型、钢 - 混凝土组合结构结构体系模型及轻钢轻混凝土结构体系模型，如图 4~6 所示，对所建模型进行整体结构位移和结构反力分析[1] [2] [3]。



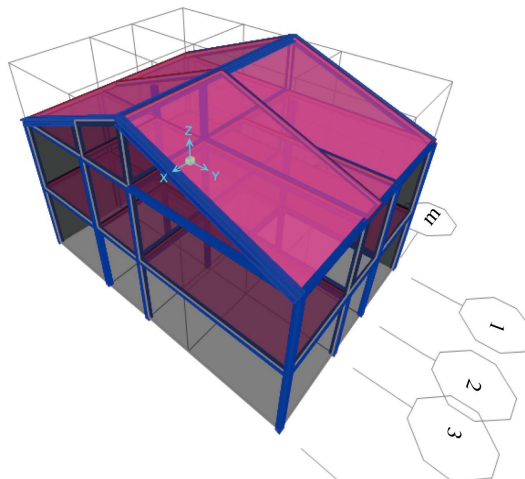
Figure 2. Keel frame  
图 2. 龙骨框架



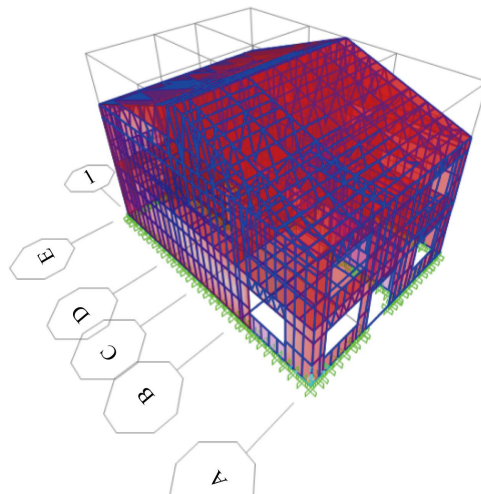
**Figure 3.** Back wall of concrete building  
**图 3.** 混凝土建筑后墙身



**Figure 4.** CL structure model  
**图 4.** CL 结构模型图



**Figure 5.** Steel-concrete composite structure model  
**图 5.** 钢 - 混凝土组合结构模型图



**Figure 6.** Structural model of light steel and light concrete  
**图 6.** 轻钢轻混凝土结构模型图

本文对三种结构体系进行整体结构力学性能分析，因恒荷载对整体结构起主要控制作用，故只针对恒荷载最大位移进行对比分析。见表 1。

**Table 1.** Maximum displacement under constant load (mm)  
**表 1.** 恒荷载工况下最大位移(mm)

	CL 结构	钢 - 混凝土组合结构结构	轻钢轻混凝土结构
X	0.29	0.31	-0.03
Y	1.25	-1.72	0.05
Z	3.83	5.81	3.12

根据表 1 的数据分析可知，钢 - 混凝土组合结构体系结构位移和 CL 结构体系位移相差不大，但都远大于轻钢轻混凝土结构体系位移，说明轻钢轻混凝土结构体系刚度最大，结构变形最小。

由表 2 和表 3 可知，在结构布置相同、荷载施加相同的情况下，钢 - 混凝土组合结构结构在风荷载作用下位移变化最大，说明该结构抗侧刚度较弱，轻钢轻混凝土结构在在风荷载作用下位移变化最小，说明该结构抗侧刚度最大，CL 结构介于二者之间。

**Table 2.** X wind direction layer displacement and interlayer displacement angle  
**表 2.** X 风向层位移和层间位移角

	CL 结构	钢 - 混凝土组合结构结构	轻钢轻混凝土结构
一层层间位移/mm	0.52	2.98	0.56
一层层间位移角	1/5803	1/1010	1/5376
二层层间位移/mm	1.67	3.54	1.12
二层层间位移角	1/3704	1/1695	1/5494

**Table 3.** Layer displacement and inter layer displacement angle of wind direction Y  
**表 3.** Y 风向层位移和层间位移角

	CL 结构	钢 - 混凝土组合结构结构	轻钢轻混凝土结构
一层层间位移/mm	0.47	1.24	0.75
一层层间位移角	1/6410	1/2439	1/4000
二层层间位移/mm	1.26	2.31	0.87
二层层间位移角	1/4716	1/2579	1/6897

### 3.2. 结构反力分析

活载对结构的反力作用影响较小,不是主要控制因素,所以只在恒载和风载作用下,分析三种结构形式内力结果。见表 4。

**Table 4.** Maximum structural reaction  
**表 4.** 结构反力最大值

	CL 结构			钢 - 混凝土组合结构结构			轻钢轻混凝土结构		
	恒载	X 向风载	Y 向风载	恒载	X 向风载	Y 向风载	恒载	X 向风载	Y 向风载
$F_x$	56.99	34.89	35.09	3.97	15.11	0.79	0.85	16.71	0.61
$F_y$	71.21	2.16	25.07	1.15	5.43	5.945	1.01	0.615	6.07
$F_z$	335.8	14.39	38.23	273.29	9.91	1.612	4.85	2.668	2.18
$M_x$	2708.6	156.49	1288.9	4423.1	9665.52	1733.8	115.32	117.92	434.86
$M_y$	2051.6	109.26	1117.15	3390.7	16345.9	1324.01	341.59	425.82	180.32

由表可以看出,三种不同结构体系在恒载和风载作用下,轻钢轻混凝土结构体系各向反力和弯矩最小,并结合结构全部反力值,可知三种结构体系中轻钢轻混凝土结构体系反力分布最为均匀,竖向支撑布置没有不规则的地方,整体结构力学性能最好。并且在满足支座极限承载力的前提下,轻钢轻混凝土结构支座处弯矩最小,抗弯承载力最好,对结构安全最为有利。

## 4. 经济成本对比分析

### 4.1. 施工阶段成本

对三种结构形式施工阶段成本费用进行计算[4],得到每种结构形式施工阶段的工程造价,如表 5 所示。

**Table 5.** Comparison of engineering cost of different structural systems (10000 yuan)  
**表 5.** 不同结构形式工程造价对比(万元)

	CL 结构形式	轻钢 - 混凝土组合结构形式	轻钢轻混凝土结构形式
工程造价	32.49	32.96	24.27

由表 5 可知,CL 结构形式和轻钢 - 混凝土组合结构形式工程造价相差不大,但都远大于轻钢轻混凝土结构形式工程造价,说明在施工阶段轻钢轻混凝土结构形式工程造价最低,经济性最合理。



## 4.2. 维护使用阶段成本

将三种结构形式维护使用阶段成本汇总计算, 如表 6 所示。

**Table 6.** Cost comparison of maintenance and use stage (10000 yuan)

**表 6.** 维·成本对比(万元)

	CL 结构形式	轻钢 - 混凝土组合结构形式	轻钢轻混凝土结构形式
维护使用成本	3.07	4.96	0.69

由表 6 可知, 三种结构形式中轻钢轻混凝土结构形式在房屋投入使用后, 在寿命周期内, 维护使用成本最低, 比 CL 结构形式和轻钢 - 混凝土组合结构形式维护使用费用减少 70%~80%左右, 极大地减轻农民维修房屋的经济负担。

## 4.3. 期末残值成本

依据上文中分析, 在建筑结构寿命期期满后, 轻钢轻混凝土结构形式期末残值最大, 建筑材料可回收利用部分最多, 结构剩余价值最大。

综上所述, 根据施工阶段成本、维护使用阶段成本、期末残值成本的综合对比分析可知, 轻钢轻混凝土结构形式造价最低, 经济最合理, 解决了农民所关心的房屋建造成本高的问题。

## 5. 结语

通过文章的分析结果可以得知, 轻钢轻混凝土结构体系整体受力均匀, 变形合理, 结构安全性能好。同时工程经济成本低, 一般农民可以负担, 所以最适宜在美丽乡村建设中推广建造。

## 参考文献

- [1] 张浩浩. 空间网架 - 超长钢框架支撑整体结构力学性能研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津大学, 2016.
- [2] 俞作义. 两种框架结构形式的转变与工程造价的对比分析[J]. 价值工程, 2012, 31(27): 54-55.
- [3] 屈国红. 小高层建筑不同结构体系对比研究[D]: [硕士学位论文]. 太原: 太原理工大学, 2014.
- [4] 郭晓梅. 小高层住宅结构体系优化分析[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津大学, 2007.