

## 某带闷顶层钢筋混凝土坡屋顶结构建模方式对比分析

张军<sup>1</sup>, 林大地<sup>2\*</sup>

1. 中冶西北工程技术有限公司, 建筑设计研究院, 内蒙古 包头, 014010

2. 温州理工学院, 建筑与能源工程学院, 浙江 温州, 325000

**摘要:** 基于目前结构建模方式的不同, 对框架梁柱内力分配及配筋结果的偏差问题, 本文介绍了某个带闷顶层钢筋混凝土坡屋顶的结构设计, 采用 PKPM2.1.2 进行建模, 分别以闷顶层与坡屋顶按一个标准层建立, 闷顶层按层间梁、层间板建模和闷顶层与坡屋顶按两个标准层建模, 并进行了受力分析。结果表明: 将闷顶层与坡屋顶按一个标准层建立的建模方式更加经济合理, 不会产生局部楼层刚度突变而计算失真。研究结果可为同类工程设计提供参考与建议。

**关键词:** 坡屋顶; 结构建模; 受力分析

## Comparative analysis of structural modeling methods of a reinforced concrete slope roof with a smothered roof

Jun Zhang<sup>1</sup>, Da di Lin<sup>2\*</sup>

1. Architectural Design and Research Institute, MCC Northwest Engineering Technology Co. LTD, Baotou Neimenggu, China 014010

2. College of Architecture and Energy Engineering, Wenzhou University of Technology, Wenzhou, Zhejiang, China 325011

**Abstract:** Based on the different current structural modeling methods, the problem of internal force distribution and reinforcement results deviation of frame beams and columns is discussed. This paper briefly introduces the structural design of a reinforced concrete slope roof with a closed top layer, PKPM2.1.2 was used for modeling, the smothered roof and the pitched roof are respectively built according to a standard layer, the smothered roof layer is modeled as interlayer plate, and the smothered roof and the pitched roof are modeled according to two standard layers, and the force analysis is carried out. The results show that it is more economical and reasonable to establish the model of the smothered roof layer and the slope roof according to one standard floor, which will not cause the calculation distortion due to the sudden change of local floor stiffness. The research results can provide reference and suggestions for similar engineering design.

**Keywords:** Slope roof; Structural modeling; Force analysis

随着社会的发展, 人们对美好生活的向往意识逐步加强。对房屋建筑的要求不仅仅局限于其内部的舒适度, 而且对外部美观也提出了更高的要求。坡屋顶是我国古代建筑的主要屋面形式, 它不仅防潮、隔热、保温, 而且建筑造型美观、大方<sup>[1,2]</sup>。现代建筑艺术的快速发展及城市住宅加强屋面排水措施和保温效果要求的不断提高, 更加使得坡屋面结构被越来越多地应用于各种结构的屋面系统中。

有设计人员以平屋顶简化模型建模，层高取坡屋顶最高点处层高的 1/2，最后将计算结构套用在坡屋面梁上，这样简化建模的受力方式与实际受力存在较大偏差，不能反映结构真实的受力状态<sup>[3]</sup>。

本文通过工程实例，采用 PKPM2.1.2 结构计算软件对坡屋顶用 2 种方式进行建模计算，并进行受力分析和对比，以研究 2 种方法对计算结果的影响，为同类工程的设计提供参考依据。

## 1 工程概况

该工程位于内蒙古自治区包头市某物流园区内，作为管理人员用房，总建筑面积 3271.14 m<sup>2</sup>，共四层，标准层层高为 3.6m，顶部采用闷顶加坡屋顶的形式，建筑檐口高度为 15.3m，屋脊高度为 19.1m。建筑效果图见图 1，建筑剖面图见图 2。



图 1 建筑效果图

Fig.1 Architectural Illustration

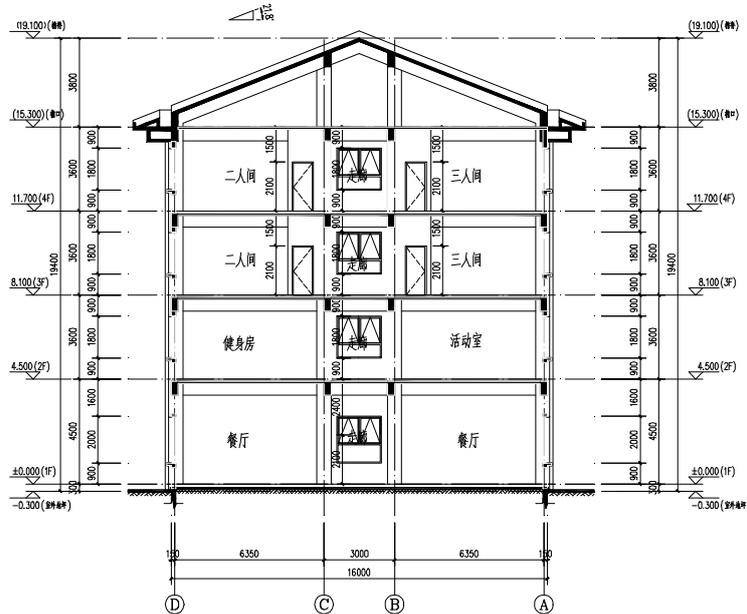


图 2 建筑剖面图

Fig.2 Building Section Drawing

## 2 结构设计方案

建筑的主体结构采用现浇钢筋混凝土框架结构体系，基础为柱下独立基础。结构设计工作年限为 50 年，安全等级为二级，建筑抗震设防烈度为 8 度，设计基本地震加速度为 0.20g，设计地震分组为第二组，抗震设防类别为标准设防类<sup>[4]</sup>，框架计算抗震等级为二级，抗震构造措施的抗震等级为二级。场地类别为 II 类<sup>[5,6]</sup>。50 年一遇的基本风压为 0.55kN/m<sup>2</sup>，地面粗糙度类别为 B 类，风荷载体型系数为 1.3<sup>[7]</sup>。

## 2.1 坡屋顶设计

该建筑屋顶采用了坡屋顶形式，为了贴近工程实际，更好地设计和受力分析，结构模型按实际情况建立了坡屋面。使用 PKPM 结构设计软件 2024 版（V2.1.2）对屋顶部分采用了两种建模方式进行计算结果对比分析<sup>[8-12]</sup>。结构整体三维模型见图 3，第一种建模方式为以闷顶层与坡屋顶按一个标准层，闷顶层按层间梁、层间板建模（以下简称“模型一”），模型一顶部模型见图 4。第二种建模方式是闷顶层与坡屋顶按两个标准层建模组装，坡屋面与闷顶层共用的梁用  $100\times 100$  截面的虚梁代替（以下简称“模型二”），模型二顶部模型见图 5。

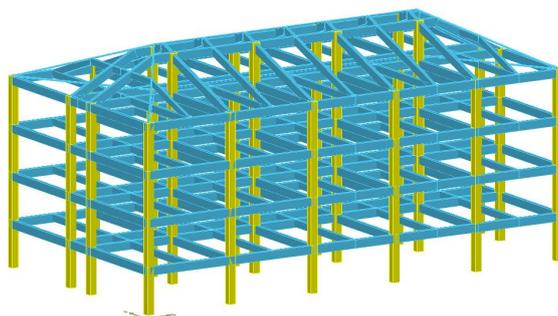


图 3 结构整体三维模型图  
Fig. 3 Integrated 3D Structural Model

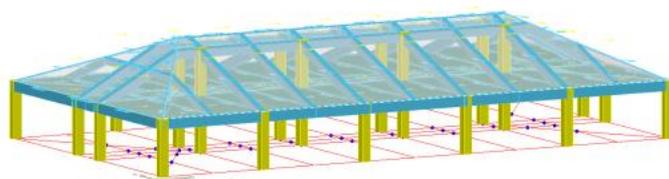


图 4 模型一顶部模型图  
Fig. 4 Model 1 - Top View

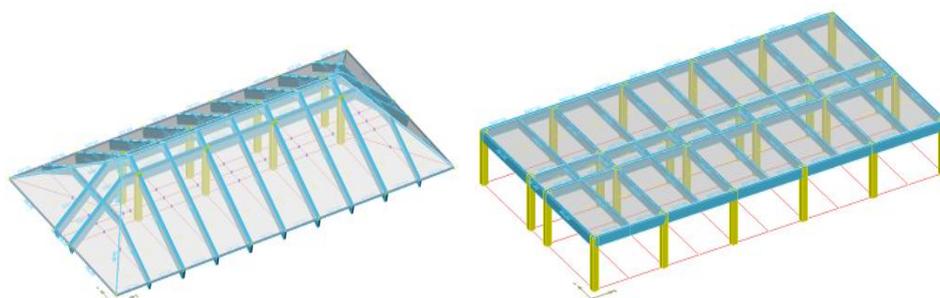


图 5 模型二顶部模型图  
Fig. 5 Model 2 - Top View

## 2.2 计算结果对比分析

该工程计算采用振型分解反应谱法，地震作用和风荷载按两个主轴方向计算，同时考虑 5% 的偶然偏心地震作用，并考虑双向地震作用下的扭转耦联振动影响。两个模型均采用相同尺寸的构件截面尺寸、相同强度等级的混凝土（C30）和钢筋级别（HPB300、HRB400）。隔墙材料采用蒸压加气混凝土砌块，容重  $\leq 800\text{kg/m}^3$ 。建筑标准层梁、柱结构平面布置图如图 6 所示。

### 2.2.1 位移角对比

整体计算的位移角结果，X 向和 Y 向两个模型地震作用楼层最大位移角见表 1。从对比结果看，两种建模方式的位移角计算结果相当，模型一较模型二略小。

表 1 位移角计算结果

Tab.1 Calculated Displacement Angles

模型	振型号	振型周期/s	转角/°	平动系数 (X+Y)	扭转系数
模型一	1	0.8688	180	1.00 (1.00+0.00)	0.00
	2	0.8511	90	1.00 (0.00+1.00)	0.00
	3	0.7685	142.12	0.00 (0.00+0.00)	1.00
模型二	1	0.8786	180	1.00 (1.00+0.00)	0.00
	2	0.8612	90	1.00 (0.00+1.00)	0.00
	3	0.7873	0	0.00 (0.00+0.00)	1.00

### 2.2.2 振动周期对比

考虑扭转耦联时的振动周期，两个模型都从第三振型振动周期为纯扭转振动周期。振型计算结果对比见表 2。从表 2 计算结果对比来看，模型一的振动周期比模型二小，说明此算例模型一刚度相对较大。

表 2 振型计算结果

Tab. 2 Mode Shape

模型	振型号	振型周期/s	转角/°	平动系数 (X+Y)	扭转系数
模型一	1	0.8688	180	1.00 (1.00+0.00)	0.00
	2	0.8511	90	1.00 (0.00+1.00)	0.00
	3	0.7685	142.12	0.00 (0.00+0.00)	1.00
模型二	1	0.8786	180	1.00 (1.00+0.00)	0.00
	2	0.8612	90	1.00 (0.00+1.00)	0.00
	3	0.7873	0	0.00 (0.00+0.00)	1.00

### 2.2.2 梁柱受力及配筋对比

选择闷顶平面框架层边梁、中梁，坡屋面主斜梁、次斜梁在两个模型中的计算配筋面积作为代表进行对比，见表 3。

表 3 梁、柱端计算配筋面积 (单位: mm<sup>2</sup>)

Tab.3 Calculated Reinforcement Area at Beam and Column Ends (Unit: mm<sup>2</sup>)

模型		纵向边梁	横向边梁	中梁	主斜梁	次斜梁	边柱
模型一	顶筋	1295	1367	1132	1154	325	3060
	底筋	980	1037	1212	1344	2164	
模型二	顶筋	1497	1806	749	1286	325	4464
	底筋	1423	1422	868	1269	2061	

可以看出，模型一计算结果中纵向边梁顶筋和底筋分别较模型二的小 13.5%和 31.1%，横向边梁顶筋和底筋分别较模型二的小 22.7%和 22.4%；中梁顶筋和底筋分别较模型二的大 51.1%和 39.6%；主斜梁顶筋较模型二的小 10.3%和 39.6%，主斜梁底筋较模型二的大 5.6%；次斜梁两种模型顶筋配筋相当，底筋配筋模型一较模型二大 5.0%；边柱配筋模型一较模型二小 31.4%。基于计算配筋工程量初步统计显示，模型一总用钢量 69830kg，屋顶组合层钢筋用量 16270kg，模型二总用钢量 77750kg，屋顶组合层钢筋用量 16270kg，屋顶组合层钢筋用量 18680kg，总用钢量模型一较模型二少 10.2%，屋顶组合层钢筋用量模型一较模型二少 12.9%。

根据 PKPM 软件的计算结果，两种闷顶结构建模方式下的四层框架梁及斜梁的弯矩包络图分别如图 7，图 8 所示。

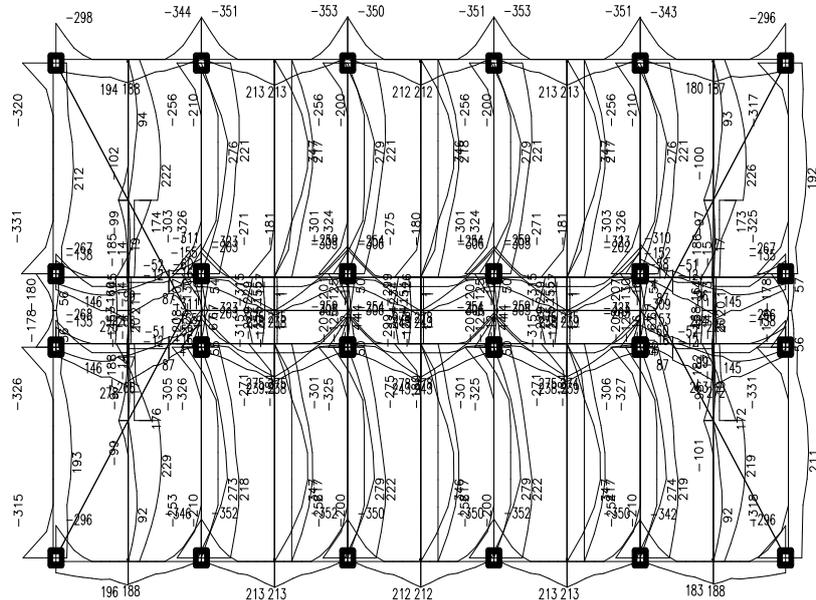


图 7 模型一顶层框架梁弯矩包络图  
Fig. 7 Model 1 - Bending Moment Envelope

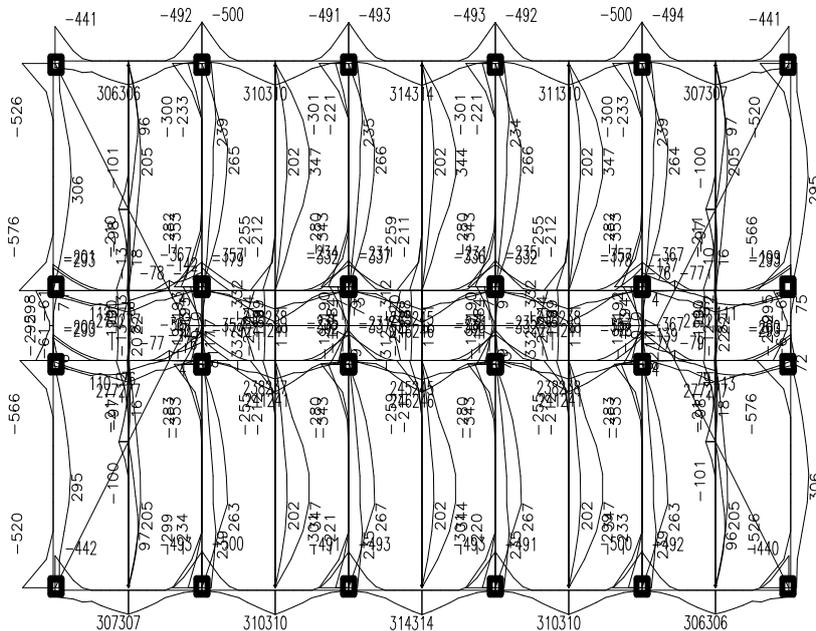


图 8 模型二顶层框架梁弯矩包络图  
Fig. 8 Model 2 - Bending Moment Envelope

由图 7 和图 8 对比可以看出，两种建模方式下的顶层框架梁弯矩包络图差别较大。与模型二相比，模型一中框架边梁所受到的弯矩明显要小很多；而框架中梁所受的弯矩则略微偏大；坡屋顶斜梁（主梁+次梁）两种建模方式计算结果相当，导致计算配筋面积相差仅 5.5% 左右。

通过查看结构计算书文件及刚度比指标（图 9、图 10）可知，模型二的建模方式导致二层及四层刚度突变，形成薄弱层，需按地震剪力调整系数 1.25 倍放大调整。这就导致以上两种建模方式虽

在理论上与实际受力情况相符，但软件在计算过程中，因模型二中坡屋面单独按标准层建立模型，楼层层高太低，刚度骤然增大，造成下部二层和四层刚度比不满足规范要求，进而将对应于地震作用标准值的剪力按一定系数进行放大调整。

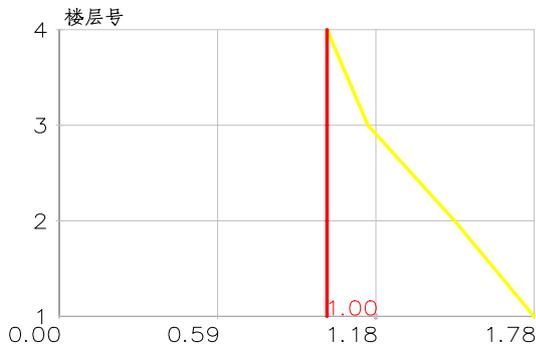


图9 模型一地震工况刚度比

Fig. 9 Model 1 - Bending Moment Envelope

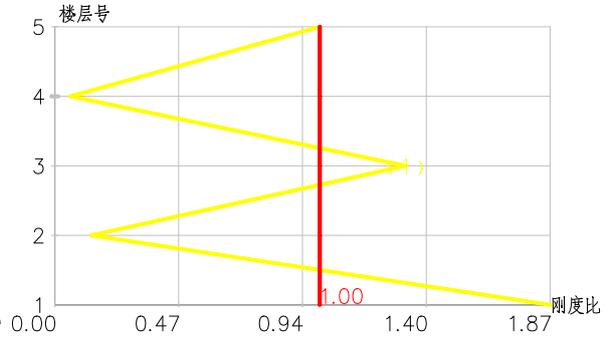


图10 模型二地震工况刚度比

Fig. 10 Model 2 - Bending Moment Envelope

### 3 结论

通过本文的计算分析表明，将坡屋面按上述两种不同的建模方式进行计算，在位移角，振型周期等指标方面，二者差别仅为3%左右；而在计算配筋面积方面，二者虽都接近实际受力状态，但软件在计算过程中，因模型二中坡屋顶标准层刚度太大，造成下部局部楼层刚度比突变，形成薄弱层，地震剪力按照规范要求进行了放大调整，导致相应楼层中构件弯矩的放大调整，进而使得局部构件计算配筋面积差距较大，相差范围为5%~51%；而其他楼层中的梁、柱构件计算配筋面积相当。

该工程为四层框架结构，结构布置相对简单，规模较小，在总含钢量方面，模型一较模型二少10.2%，如若对更大规模的坡屋面结构进行设计，模型二的建模方式导致总含钢量会进一步上升。

根据上述结果，得出结论：

(1) 对于带有闷顶层的坡屋顶框架结构，建议采用坡屋顶按一个标准层建立，闷顶层按层间梁、层间板输入的方式建模；

(2) 不建议闷顶层与坡屋顶按两个标准层建模组装，从而导致刚度突变，造成梁柱计算内力失真，配筋偏大，导致材料浪费；

(3) 采用模型一的建模方式，绘制坡屋顶和闷顶层施工图不方便，而模型二的建模方式在坡屋顶层斜梁计算结果与模型一相当，可以按模型二绘制斜梁施工图，再根据模型一做局部调整，这样能够最大程度提高工作效率。

### 参考文献

- [1] 杨桦. 坡屋顶在建筑工程设计中的应用[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2015, 36(06): 40-42.
- [2] 钱宏伟. 浅析坡屋顶在住宅建筑中的设计应用[J]. 黑龙江科技信息, 2010(6): 270.
- [3] 李佳. 某坡屋顶建筑的结构建模方式对比分析[J]. 林产工业, 2015, 42(08): 58-59.
- [4] GB50223-2008 建筑工程抗震设防分类标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [5] GB/T50011-2010 建筑抗震设计标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- [6] GB55002-2021 建筑与市政工程抗震通用规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2021.
- [7] GB50009-2012 建筑结构荷载规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [8] GB/T50010-2010 混凝土结构设计标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- [9] GB55008-2021 混凝土结构通用规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2021.
- [10] 杨威, 苗凯峰, 刘婷, 等. 山地区域大跨度坡屋顶建筑结构设计[J]. 建筑结构, 2012, 42(S1): 396-398.

- [11] Jiang, Y. B., Zhao, Y. L., Yang, W. J., et al. Parametric reliability analysis of the seismic bearing capacity of bottom columns in reinforced concrete frame structure [EB/OL]. 2013.
- [12] Liu, Z. Q., Bai, G. L. Study on reasonable linear stiffness ratio in frame structure based on Lagrange multiplier method [C]//Computer Society. 2008: 368-371.

**第一作者简介：**张军（1987-），男，工程硕士，工程师，国家一级注册结构工程师，主要从事结构方面的设计与组合结构方面的研究。E-mail: JangChun888@163.com。

**\*通讯作者简介：**林大地（1992-），男，博士研究生，讲师，研究方向：高性能橡胶混凝土路面材料性能、再生混凝土力学性能、再生粗骨料细观数字建模、多尺度下再生粗骨料模型混凝土损伤机理等研究。E-mail: 20240136@wzut.edu.cn。