

楼板大开洞砌体结构 PKPM 计算浅析

孔令严

上海勘察设计研究院（集团）股份有限公司 上海 200093

【摘要】砌体结构是我国既有工业建筑结构的常见形式之一，由于建筑功能的需要，此类结构局部区域经常需要处理成开有全房间洞口的形式。在该类结构的安全和抗震鉴定中，现有的结构类计算软件 PKPM 并不能准确模拟其受力性能，不同建模方式结果差距较大。本文先对 PKPM 的结果进行总结，然后分析此类建筑的结构特点并通过手算进行复核，在手算和软件验算对比的基础之上，给出处理此类结构的合理化建议。

【关键词】PKPM；砌体；错层；大开洞；建模分析

1 背景资料

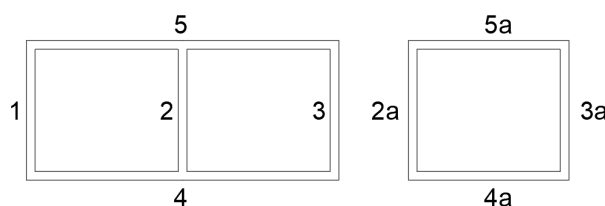
当前新建砌体结构较为少见，但砌体结构曾作为我国主要的结构类型，拥有相当的保有量。随着我国既有房屋改造的项目越来越多和《规程》^[1]的实施，房屋改造前，需要对房屋进行安全和抗震鉴定，为后续改造设计提供依据。工业类的砌体结构，如变电站、泵房等，为满足建筑功能，房屋结构局部经常被处理成全房间洞口。如何正确对此类房屋进行鉴定计算，是摆在鉴定人员面前的问题。众所周知，目前砌体结构的抗震计算一般采用底部剪力法，但在用 PKPM 在处理此类结构时，同一幢结构，不同的建模方式，计算结果相差较大。因此，有必要进一步研究问题根源，找到偏差的原因。本论文通过一个简化的算例，采用 PKPM V1.4.1 版本进行计算，探讨建模方式不同所带来的差异来源，然后参考规范假定，手算并与软件计算结果进行对比，给出此类建筑鉴定验算的合理化建议。

2 算例简介

为了研究 PKPM 计算差异和存在的问题，提出以下简化算例：房屋为双开间，开间宽度为 4.2m，进深均为 6.0m，左侧开间屋面板标高为 3.0m，右侧开间屋面板标高为 6.0m，且无层间板。无室内外高差，基础顶标高取为 ±0.000m。墙体厚度为 240mm，块材为烧结黏土砖，砖强度等级为 MU10，砂浆为混合砂浆，强度等级为 M5。屋面板均为现浇混凝土板（刚性屋盖）。屋面恒荷载为 5kN/m²（含楼板自重），墙体容重为 22kN/m³，不考虑活荷载。恒荷载分项系数取为 1.3。地震分组为第二组，抗震设防烈度为 7 度，基本加速度为 0.1g，水平地震影响系数取 0.08，地震作用分项系数取 1.4。施工质量等级为 B 级。为简化计算，本算例未设置门窗洞口，即不考虑门窗洞口的影响。

3 PKPM 模型

PKPM 砌体模块在处理上述算例结构时，有三种常用的建模方式，方式一为建立单层模型，通过升高墙体顶点坐标来实现，以下称其为模型一。方式二为建立单层模型，通过降低墙体顶点坐标来实现，以下称其为模型二。方式三为建立两个标准层，较高开间的二层楼板进行全开洞处理，以下称其为模型三。为方便后续描述，对墙体进行了编号，图 1 为墙体的编号，其中图 1 a) 适用于模型一、模型二和模型三的首层，图 1 b) 适用于模型三的第二层。



a) 模型一、模型二和模型三首层的墙体编号 b) 模型三的第二层墙体编号

图 1 墙体编号

4 PKPM 计算结果对比

表一列举了上述三个模型的 PKPM 计算结果，对比计算结果可知：

(1) 模型一和模型三的墙体高厚比计算结果相同，模型二结果较上述两个模型结果普遍偏大，最大偏差约 20%。

(2) 模型一和模型三的墙体受压计算结果相同，模型二结果较上述两个模型结果普遍偏大，最大偏差约 8%。

(3) 三个模型的墙体抗震计算结果均出现较大的偏差，模型一和模型二计算结果最大偏差约 48%，模型一和模型三计算结果最大偏差约 18%，模型二和模型三计算结果最大偏差约 20%。

表 1 PKPM 计算结果对比

墙体 编号	高厚比			受压（抗力 / 效应）			抗震（抗力 / 效应）		
	模型 一	模型 二	模型 三	模型 一	模型 二	模型 三	模型 一	模型 二	模型 三
1	12.5	15.0	12.5	9.90	9.14	9.90	5.04	7.46	5.93
2	12.5	15.0	12.5	4.95	4.57	4.95	5.67	8.39	6.67
3	12.5	15.0	12.5	5.83	5.38	5.83	5.49	8.12	6.46
4	9.5	10.5	9.5	8.41	8.19	8.41	4.82	7.13	5.67
5	9.5	10.5	9.5	8.41	8.19	8.41	4.82	7.13	5.67
2a	/	/	12.5	/	/	9.90	/	/	4.47
3a	/	/	12.5	/	/	9.90	/	/	4.47
4a	/	/	9.5	/	/	11.56	/	/	3.15
5a	/	/	9.5	/	/	11.56	/	/	3.15

5 PKPM 计算结果偏差原因分析

根据规范^[2]定义，高厚比是计算高度和墙体厚度的比值。计算高度和房屋静力计算方案、横墙间距以及层高等因素相关，就本次三个算例而言，房屋计算方案、横墙间距均相同，模型在取层高时产生了偏差。模型一和模型三按 3.0m 的层高进行取值，此时计算高度为 $0.4 \times 6 + 0.2 \times 3 = 3.0\text{m}$ 。模型二是采用 6.0m 高度进行取值，此时计算高度为 $0.6 \times 6 = 3.6\text{m}$ 。造成这个现象的原因是，模型一和模型三的标准层为 3.0m 高，模型二标准层为 6.0m 高，尽管模型二采用了降低墙顶标高的方式，但软件并未按降低后的墙体高度进行计算。综上，模型二在 1 号高厚比计算上存在问题，计算结果偏保守。2 号墙体由于有楼板约束，层高为 3m，模型二在计算该墙体高厚比时，未考虑楼板的约束作用，导致计算结果偏保守。模型一和模型三并未考虑 3 号（3a 号）墙体的特殊性，高厚比计算结果偏不安全。对于 4 号（4a 号）墙体而言，PKPM 分成了两部分进行单独计算，但每一部分的计算结果都相同，尚不清楚软件内部设置。若按两部分考虑，左侧部分层高为 3m，计算高度为 $0.4 \times 4.2 + 0.2 \times 3 = 2.28\text{m}$ ，高厚比为 9.5。右侧部分层高为 6m，计算高度为 $0.6 \times 4.2 = 2.52\text{m}$ ，高厚比为 10.5。对比模型一和模型二的计算结果可知，此处的计算结果仍然是受建模方式的影响，即标准层的高度，决定了软件后续操作的基准，墙体升高或降低将不再软件的考虑范围。5 号（5a 号）墙体同 4 号（4a 号）墙体，不再赘述。模型三虽然没有层高上的问题，但人为将 3 号（3a 号）墙体分成上下两层，在计算上也是偏不安全的。

根据规范^[2]定义，墙体抗压承载力和稳定系数、墙体截面面积以及墙体抗压强度相关，稳定系数由高厚比和偏心距两个因素决定。三个算例中，每片对应墙体的截面面积和墙体抗压强度设计值均相同，外力和偏心

距也相同，因此计算结果的不同是高厚比的影响，不再赘述。

为了查明上述三个模型抗震计算结果偏差的原因，本节对三个模型在 PKPM 中计算过程进行对比分析。众所周知，PKPM 在处理砌体结构时，采用的是底部剪力法，因此，下文将按照底部剪力法的计算步骤，逐步校核对比三个模型的计算过程。

根据模型计算结果可知，三个模型的总重力相同，均为 1126.37kN。模型一的总重力荷载代表值为 850.75kN，模型二的总重力荷载代表值为 575.14kN，模型三的总重力荷载代表值为 723.14kN。三个模型的总重力荷载代表值开始出现了明显差异。

在多遇地震下的楼层地震影响系数最大值、荷载分项系数、承载力抗震调整系数均相同，这三个参数不会造成计算结果的差异。根据三个模型不同墙肢的地震剪力设计值可知，在同一方向不同墙肢之间的分配比例均相同，因此排除地震力分配因素的影响。墙体抗震承载力主要和墙体截面面积、重力荷载代表值作用下墙体截面的平均压应力、非抗震设计的砌体抗剪强度设计值以及承载力抗震调整系数有关，经查证，上述平均压应力受重力荷载代表值影响，其余因素三个模型均相同。综上，造成抗震计算结果差异的原因是总重力荷载代表值统计时，各模型统计范围不尽相同。

表 2 地震剪力设计值对比

墙肢 编号	地震剪力设计值 (kN)		
	模型一	模型二	模型三
1	25.93	16.41	22.04
2	25.93	16.41	22.04
3	25.93	16.41	22.04
4	38.89	24.61	33.06
5	38.89	24.61	33.06
2a	/	/	27.81
3a	/	/	27.81
4a	/	/	27.81
5a	/	/	27.81

因 PKPM 荷载统计过程不详，本文进行手算，试图解释差异原因。假定墙体按就近原则进行质量集中，考虑到模型一和模型二的建模方式不同，模型一的质量全部集中于较低屋面处，模型二的质量全部集中于较高屋面处，模型三的质量则分别集中于较低和较高屋面处。每片墙体对荷载统计的贡献见表 3。

手算结果表明，三个模型重力荷载代表值和 PKPM 的结果一致。以上对比结果表明了 PKPM 在关于重力荷载代表值的统计上的内部设定与本文假定基本一致。由表三可知，模型二尽管将所有屋面荷载均纳入统计范围，但总体统计区域偏少，模型一和模型三统计区域相对合理。

表 3 模型一和模型二的重力荷载代表值对比

统计对象 模型一		重力荷载代表值（kN）		
		模型二	模型三	
墙体	1	47.52	0	47.52
	2	142.56	95.04	47.52
	3	142.56	95.04	47.52
	4	133.06	66.528	66.628
	5	133.06	66.528	66.628
	2a	/	/	95.04
	3a	/	/	95.04
	4a	/	/	66.528
	5a	/	/	66.528
屋面		252	252	252
总和		850.76	575.136	723.29（多质点，乘以 0.85）

模型一和模型三的总重力荷载代表值的统计区域相同, 但总重力荷载代表值却不同, 这是因为多自由度体系会对总重力荷载代表值进行打折 (0.85) 所致。当楼层组合为一层时, PKPM 会默认简化为一个自由度, 当楼层组合为二层时, PKPM 会默认简化为两个自由度。因此, 模型一和模型二是按单质点模型进行计算, 模型三是按双质点模型进行计算。

地震力分配方面, 三个模型在分配原则上是统一的, 均是按照墙体刚度进行分配。需要指出的是, 按《抗规》要求, 墙体高宽比大于 1 的时候, 应同时考虑剪切和弯曲变形, 模型一和模型二中 3 号墙体高宽比约为 2, 但 PKPM 似乎未考虑弯曲变形的影响。

6 进一步分析

砌体结构作为最古老的结构之一, 发展到目前为止, 其计算理论仍然是半经验半理论的状态, 原因就在于砌体是高度非线性的。从实践和设计的角度来讲, 本文的对象在静载下是安全的, 由于房屋高度一般较低, 地震作用下也未必起控制。因此, 总体上房屋的可靠性是可以得到保证的。然而, 当房屋材料性能退化, 其安全性就必须通过检测鉴定来确定。对于此类砌体结构, 利用软件计算分析时应特别注意不同建模之间的差别, 以期对结构形态进行合理评估。此外, 进一步分析算例的特点可知, 房屋质量和刚度沿高度分布不均匀, 平面也不对称, 属于抗震不利的结构。当地震力沿房屋纵向, 结构的质心和刚心重合, 结构不存在扭转问题, 该方向墙体均分地震力。当地震力沿房屋横向, 结构的质心和刚心不重合, 结构存在扭转问题。由于目前抗震规范^[3]尚未对砌体结构的扭转进行定量的规定, 因此 PKPM 在处理上述模型时均未考虑扭转影响。

模型一不能对跃层墙 (3 号及 3a 号墙体) 的高厚比进行准确计算。模型二可准确计算跃层墙 (3 号及 3a 号墙体) 的高厚比, 但其余墙体高厚比过于保守, 此外,

模型二高估了结构的抗震承载力, 不建议使用。根据《抗规》的要求, 理论上板面高差 0.5m 以上均需按双层考虑, 即按两个标准层 (模型三) 进行建模。但通过上文分析可知, 模型三在处理静载下墙体验算结果时, 对跃层墙偏不安全。

需要注意的是, 3 号与 3a 号墙体是一个高度为 6m 的完整墙肢, 实际上三个模型均未考虑, 即 PKPM 目前尚不能考虑跃层墙的特殊情况。

7 结论

本文通过对错层并带有全房间洞口的结构模型进行对比分析, 初步掌握了 PKPM 的计算逻辑和不同模型处理方式之间的差异及原因。基于上述论述, 针对此类特定的结构可得出以下结论:

(1) 无论是模型一、模型二还是模型三, 计算结果均存在一定的偏差或错误, 静力荷载作用下, 错误主要来源于软件无法考虑墙体实际高度, 地震作用下, 错误主要来源于重力荷载代表值统计时遗漏了部分墙体荷载。

(2) 静力荷载作用下, 模型一和模型三计算结果较为接近, 除查看计算结果外, 尚需手动复核跃层墙的相关结果。

(3) 地震作用下, 模型三属于抗震规范^[3]推荐的建模方式, 建议采用此种方式进行计算, 当然鉴于模型一的抗震计算结果与模型三相比, 基本相当且偏安全, 可以参考使用。

(4) 此类房屋遭遇横向地震作用时, 由于质心和刚心的不重合, 必然伴随扭转, 由此带来的影响需要进一步的研究。此外, 当考虑楼板的不同刚度 (直接影响地震力分配)、门窗洞口 (刚度削弱) 以及错层高度等影响时, 问题将更加复杂, 也是下一步需要研究的问题。

参考文献

[1] 中华人民共和国国家标准,《既有建筑鉴定与加固通用规范》(GB55021-2021)。
[2] 中华人民共和国国家标准,《砌体结构设计规范》(GB50003-2011)。
[3] 中华人民共和国国家标准,《建筑抗震设计规范》(GB50011-2010)。