

不同坡度下钢筋混凝土坡屋面结构分析

马 腾¹ 赵建瑜² 任宇涛³
中国恩菲信息技术有限公司 北京 100000

摘 要：随着我国各地房屋建设进入高峰时期，坡屋面由于造型美观、防渗排水较好等优点受到许多建筑设计院的青睐。目前多数设计院坡屋面坡度大小是通过建筑美观、排水等因素确定，对于不同坡度下结构的刚度、受力的变化未进行准确计算，并且设计师为了减少设计时间和工作量，通常按真实坡屋面的结构层高一半高度的平屋面来建模分析，不能充分体现结构的真实受力状态，具有一定安全风险。本文以钢筋混凝土四坡屋面为研究对象，采用设计师较常用的Pkm软件建立模型，通过Midas gen有限元分析软件校核计算结果，分析屋面坡度为0°、10°、20°、30°下的整体性能指标和构件内力，总结坡屋面结构的受力特点和变化趋势，为坡屋面工程设计提供参考。分析结果表明：随着坡度增加，结构整体刚度变弱，周期和位移均加大；斜梁、柱形成的拱效应越明显，斜梁弯矩减小，轴力增加；折板处产生互相支撑效应，工程设计中可有效利用折板效应，优化梁平面布置。

关键词：四坡屋面；不同坡度；结构分析

前言

当今房屋建设对美感非常讲究，出彩的屋面设计对房屋的视觉效果提升明显，其中坡屋面的结构形式能较好满足建筑美观要求，且在防渗排水和保温性能方面较平屋面更优，因而被广泛应用于乡村别墅、工厂办公楼、民用住宅等。工程中应用较多的为双坡和四坡屋面，屋面坡度的变化幅度大致在10°~30°之间^[1]。目前多数设计院坡屋面坡度大小是由建筑专业确定，对于不同坡度下结构的刚度、受力的变化未进行准确计算，为了解此类结构在不同坡度下的真实受力状态，提高设计计算精度，为其今后结构设计提供理论依据，本文以典型的四坡屋面为例进行分析，四种不同坡度工况，严格按照规范选用计算参数，采用midas gen软件建立三维空间模型，分析其受力情况。

1 建立模型

屋面形式为钢筋混凝土四坡屋面，外悬挑1m，按坡度划分0°、10°、20°、30°四种情况，其他参数不变。框架柱截面350×350mm，主梁250×500mm，次梁250×450mm，板厚120mm，柱网平面布置（如图1所示），屋檐处层高3.3m，单层，无地下室。地面粗糙度B类，基本风压0.4kN/m²，设防地震分组：第一组，抗震设防烈度7度（0.15g），场地类别Ⅱ类，抗震等级：三级，周期折减系数0.8，阻尼比0.05，屋面荷载取值（如表1所示）^[2-3]。Midas gen柱、梁均采用梁单元模拟，为模拟斜梁形成的拱效应，将梁划分网格，网格宽0.5m。另外，从坡屋面结构形式和受力分析方面，楼层平面内刚度不再符合刚性楼板假定，因而需要按弹性楼板考虑^[4]。

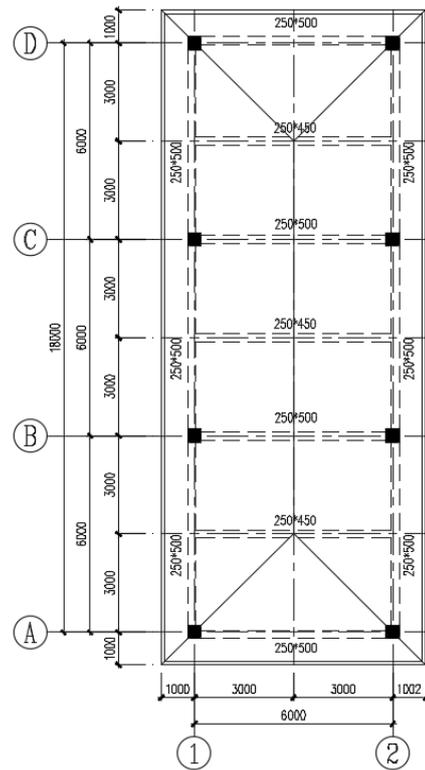


图1 平面布置图

表1 屋脊高度及荷载取值

坡度 (°)	屋脊高度 (mm)	恒载 (含板自重) (kN/m ²)	活载 (kN/m ²)	悬挑板恒载 (含板自重) (kN/m)
0	0	7	0.5	7
10	530	7.1	0.5	7.1
20	1090	7.5	0.5	7.5
30	1730	8.1	0.5	8.1

2 计算结果和分析

2.1 结构周期

从表中可以看出,两种软件的计算结果呈现的趋势相同,结构自振周期随坡度的增加而增大(如表2所示),说明坡度增大使得建筑侧向刚度逐渐变弱,因而在实际工程设计时,最好按在模型中建立斜梁、斜板,保证计算结果的准确性^[5]。Midas gen计算的周期较Pkp在平屋面时小,在坡屋面时大,说明两种软件在考虑结构刚度时的方法不一致,Midas gen软件考虑的刚度较小。

表2 不同软件结构周期对比

坡度(°)	振型	Midas gen振型		
		T1	T2	T3
0		0.255 (X)	0.250 (Y)	0.203 (T)
10		0.278 (X)	0.271 (Y)	0.225 (T)
20		0.288 (X)	0.280 (Y)	0.232 (T)
30		0.307 (X)	0.295 (Y)	0.243 (T)

2.2 多遇地震下位移情况

由于结构高度较低,且为单层建筑,风荷载较小,结构位移仅考虑地震作用下的效应(偶然偏心 ± 0.05),计算结果(如表3所示)。随着坡度依次加大,最大层间位移变大。在坡度增加 10° 时,Pkpm软件计算层间位移最大增加 0.1mm (X)、 0.09mm (Y),Midas gen软件计算结果为 0.3mm (X)、 0.3mm (Y)。在坡度为 30° 时,二者最大位移差异较大,Pkpm计算结果 2.23mm (X)、 2.18mm (Y);Midas gen计算结果 2.8mm (X)、 2.6mm (Y)。综上,进一步说明坡屋面引起了建筑侧向刚度变低,且鉴于Midas gen为有限元分析软件,分析相对来说更准确,Pkpm在进行坡屋面设计时相对于Midas gen在低坡度时偏不利,在高坡度时偏安全,建议坡屋面设计时根据实际情况,选用对应的软件。

表3 层间位移角

坡度(°)	Pkpm		Midas gen	
	最大位移(mm)	层间位移角	最大位移(mm)	层间位移角
0	2.23 (X)	1/1482 (X)	2.0 (X)	1/1674 (X)
	2.18 (Y)	1/1512 (Y)	1.9 (Y)	1/1735 (Y)
10	2.24 (X)	1/1471 (X)	2.3 (X)	1/1414 (X)
	2.20 (Y)	1/1503 (Y)	2.2 (Y)	1/1475 (Y)
20	2.34 (X)	1/1411 (X)	2.5 (X)	1/1316 (X)
	2.29 (Y)	1/1442 (Y)	2.4 (Y)	1/1385 (Y)
30	2.23 (X)	1/1332 (X)	2.8 (X)	1/1170 (X)
	2.18 (Y)	1/1359 (Y)	2.6 (Y)	1/1248 (Y)

2.3 内力分析

坡屋面对梁内力的影响,主要是在竖向荷载作用下差异较大。考虑到屋面恒荷载比活荷载值大10倍以上,

因而本文仅分析恒载作用下构件的内力,计算结果如图2所示。

(1) A、D轴、1、2轴边梁

对檐口四周边梁来说,不同坡角下的轴力变化明显, 0° 时两种软件计算结果基本一致,Pkpm显示梁的轴力均为压力,值较小,最大为 $N_{\text{max}} = 9.4\text{kN}$,Midas gen计算结果显示为0。在坡屋面时边梁内力两种软件所得均为拉力,且整体趋势相同,随着坡度的增加,拉力最大值逐渐增大,位于A、D轴框架梁中心,在 $100\sim 115\text{kN}$ (Pkpm)、 $115\sim 146\text{kN}$ (Midas gen)之间变化。说明斜梁与边梁产生了拱效应,引起了边梁拉力、弯矩的变化,坡度越大拱效应越明显,因而设计中,对于坡度较大屋面重点关注边梁裂缝情况,必要时加大截面。

(2) B、C轴框架梁

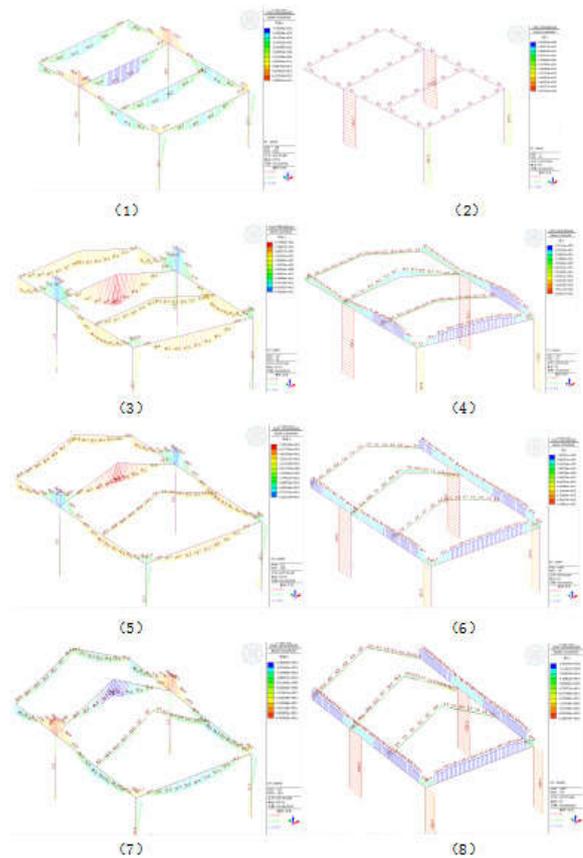


图2

图2 梁构件内力图(Midas gen)[其中,(1)(3)(5)(7)分别为 0° 、 10° 、 20° 、 30° 弯矩图,(2)(4)(6)(8)分别为 0° 、 10° 、 20° 、 30° 轴力图]

平屋面时,轴力较小或为零,可不考虑。坡屋面时,两种软件轴力结果均呈屋脊处受拉,边梁端受压分布。但随着坡度增加,变化趋势不同,Pkpm结果为轴力虽增大,但增大幅度较小,屋脊处拉力为边梁端压力

的3~4倍; Midas gen结果显示为屋脊端拉力由62.7kN(10°)减小为16kN(30°), 边梁端压力由-25.5kN(10°)增大为-60.2kN(30°)。实际工程中坡屋面角度越小, 屋脊处拉力大, 更容易开裂, 因而在设计中, 对于坡度较小的坡屋面主梁顶钢筋宜拉通或适当加强配筋。从弯矩角度看, Pkpm结果值呈一直增大趋势, 与实际受力情况不符, 因而只分析Midas gen的弯矩分析结果。当坡度小时, 坡屋面弯矩值较平屋面更大, 因而实际工程中屋面坡度不会小于10°。随着坡度增加, 弯矩下降较快, 由78.4kN·m(10°)减小为50.3kN·m(30°)。再次说明斜梁与边梁形成了一个拱, 且坡度越大, 对B、C轴框架梁内力影响越明显, 部分弯矩转化为梁轴力。

结语

随着坡度增加, 结构周期、层间位移整体呈增大趋势, 说明坡屋面引起了结构侧向刚度变弱, 建议设计时根据实际情况建立模型。

对于边梁, 坡度为0°时, 轴力较小, 弯矩值最大, 随着坡度逐渐增加, 轴力转变为拉力, 梁弯矩值逐渐减小。对于B、C轴框架梁, 轴力均呈屋脊处受拉, 边梁端受压分布, 弯矩随坡度增加逐渐减小。说明斜梁与边梁产生了拱效应, 引起了梁拉力、弯矩的变化, 坡度越大拱效应越明显, 部分弯矩转化为梁轴力。

参考文献

- [1]张明敏,毕明宇.坡屋面框架结构建模及坡度影响分析[J].建筑技术,2015,46(05):456-458.
- [2]建筑结构荷载规范GB50009-2012[M].中国建筑工业出版社,2012.北京
- [3]建筑抗震设计规范GB50011-2010(2016年版)[S].中国建筑工业出版社,2016.北京
- [4]张伟,刘俊,梁兴文.钢筋混凝土坡屋面有限元分析[J].建筑结构,2009,39(01):62-65.
- [5]黄高琼,谢刘,杨朝山,等.钢筋混凝土屋面坡度变化对结构内力的影响分析[J].重庆建筑,2010(08):37-39.