

# 地铁车辆基地上盖层间隔震分析

姬旭

西安基准方中建筑设计有限公司

**摘要：**以西安某地铁停车场上盖预留开发条件为工程背景，根据结构体系特点，提出适当的性能目标。依据《建筑隔震设计标准》（GB/T 51408-2021）建立整体隔震模型，隔震计算分析结果表明隔震支座应力、罕遇地震下支座位移、抗倾覆验算等指标均满足要求，隔震效果明显，能够满足既定的隔震目标。

**关键词：**性能目标；层间隔震；直接设计法；摩擦摆隔震支座

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.19.056

## 前言

利用地铁停车场运用库区上方进行住宅业态开发，并在盖下设计时考虑盖上开发预留条件，已成为全国各地地铁基地设计的常见做法<sup>[1]</sup>。采用层间隔震技术可明显延长结构周期<sup>[2]</sup>，降低上部建筑地震作用，有效提高

主体结构抗震性能。本文基于隔标，以西安某地铁停车场上盖开发为例，介绍基于直接设计法的层间隔震的计算过程与分析方法。

## 一、工程概况

项目位于西安市，抗震设防烈度为 8 度，设计基本地震加速度为0.20g，地震分组为第二组，场地土类别 II 类，特征周期值0.46s，属抗震一般地段，盖上建筑抗震设防类别为丙类，基本风压为0.35kN/m<sup>2</sup>。地铁停车库区、咽喉区及引道区盖下部分先行投入使用，小型汽车库及盖上住宅塔楼仅预留条件。住宅组团盖下首层地铁停车库层高为11.5米，二层物业车库层高为5.0米，均为框架剪力墙结构，上部住宅塔楼与小型汽车库间设置的隔震层层高为2.2m，住宅塔楼共计10层，层高均为3m，为剪力墙结构（图1）。

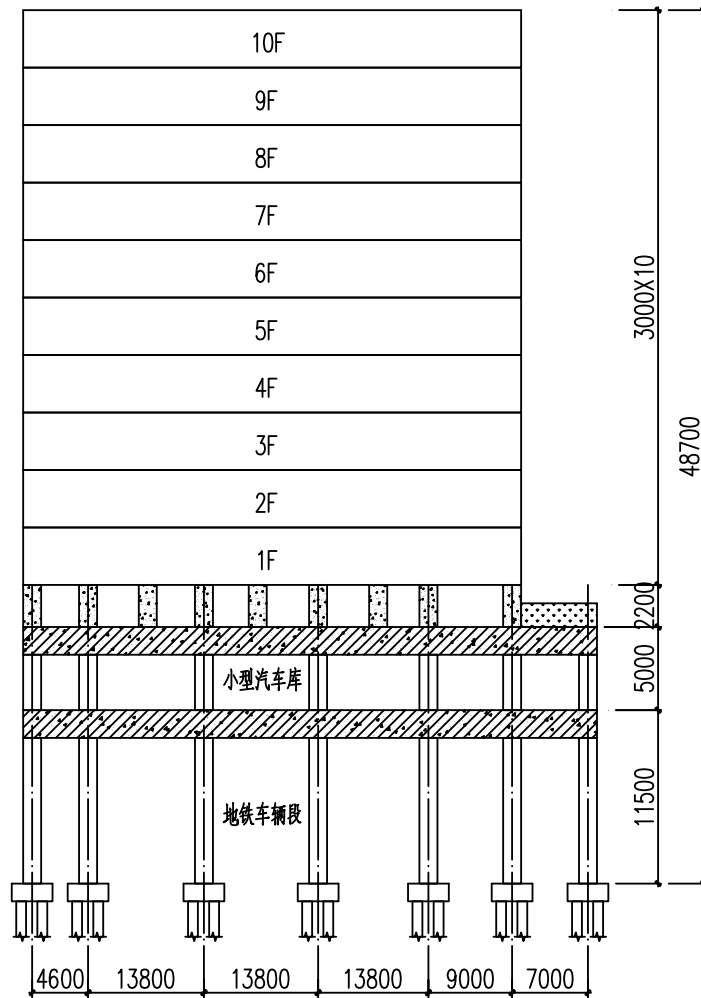


图1 基地竖向布置示意图

## 二、性能目标

根据本工程特点及隔标相关规定，提出隔震层以下、隔震层及隔震层以上结构构件相关性能目标（表1）。

表1 性能目标

构件类型		设防地震	罕遇地震
隔震层以下	隔震支座下支墩	弹性	弹性
	二层转换梁	弹性	弹性
	支墩相连构件	弹性	抗剪弹性，抗弯不屈服
	首、二层塔楼范围及相邻一跨	弹性	不屈服
隔震层	隔震层转换梁，支墩相连构件	弹性	抗剪弹性，抗弯不屈服
	隔震支座上支墩	弹性	弹性
塔楼	塔楼首层剪力墙（底部加强区）	弹性	/
	加强区以上剪力墙	抗弯不屈服，抗剪弹性	/
	连梁	不屈服	/

## 三、隔震层

本工程上部住宅塔楼与小型汽车库间设置的隔震层层高为2.2m，小型汽车库顶的楼板厚度为250mm，隔震层顶板板厚180mm。本工程共使用了30个摩擦摆隔震支座，隔震支座平面布置见图2。

## 四、设防烈度下反应谱法及弹性时程分析

采用YJKS5.1.0软件进行振型分解反应谱法及弹性时程分析，设防烈度8度（0.2g），特征周期0.46S，地震影响系数最大值0.45。

### （一）弹性时程补充分析

弹性时程分析选取5条天然波，2条人工波，多组时程波的平均地震影响系数曲线与振型分解反应谱所用的地震影响系数曲线相比，在统计意义上相符。地震作用采用7组加速度时程曲线计算结果的峰值平均值与振型分解反应谱法计算结果取包络值。多条波剪力峰值平均值小于反应谱法结果，地震作用放大系数为1.0。

### （二）隔震层验算

摩擦摆隔震支座在重力荷载代表值作用下，各摩擦摆支座最大压应力为24.35MPa，满足丙类建筑的限值30MPa。隔震层刚度中心与质量中心偏心率仅为0.12%，满足设防烈度地震作用下的偏心率不宜大于3%限值要求。隔震结构底部剪力8136kN（X向）、8348kN（Y向），非隔震结构底部剪力20595kN（X向）、29504kN（Y向），底部剪力比为0.4，小于隔标中剪力比0.5的要求，上部结构可按本地区设防烈度降低1度确定抗震措施，其中与竖向地震作用有关的抗震措施不得降低。以上分别满足隔标中4.6.2、4.6.3、6.1.3条要求<sup>[2]</sup>。风荷载作用的水平荷载标准值产生的总水平力262kN（X向）、1171kN（Y向），小于结构总重力的10%（9934kN），满足抗规12.1.3条要求<sup>[3]</sup>；隔震层以上总水平地震作用8136kN（X向）、8348kN（Y向），大于6度设防非隔震结构的总水平地震作用5492kN（X向）、7868kN（Y向），满足《建筑与市

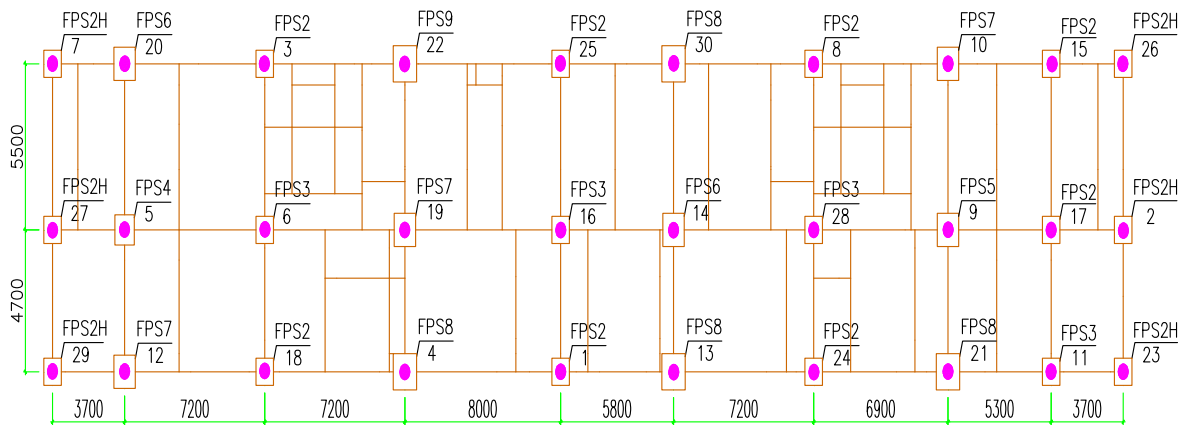


图2 隔震支座平面布置图

政工程抗震通用规范》（GB 55002-2021）5.1.7条<sup>[4]</sup>。风荷载作用下隔震层的水平剪力设计值分别为393kN（X向）、1757kN（Y向）均不大于隔震层的抗风承载力设计值，隔震层抗风承载力由抗风装置和隔震支座的屈服力构成，按屈服强度设计值确定，X、Y向均为2199.8kN，满足隔标4.6.8条<sup>[2]</sup>。

## 五、罕遇地震下时程分析

罕遇地震下采用高性能弹塑性分析软件Paco-SAP

对整体模型进行分析，选用5条天然波T1147\_Koca、T1284\_Chi、T2624\_Chi、TE000410\_G、TK\_HKD0790，2条人工波R0061TG050、R0062TG050。特征周期取0.51，地震影响系数最大值0.9。

### （一）隔震层罕遇地震验算

罕遇地震下的最大位移对应的恢复力，均大于屈服力与摩阻力之和的1.2倍，X、Y向分别为2.4及3.1倍；整体抗倾覆计算结果表明，抗倾覆力矩与倾覆力矩之比两个方向

均达到10倍以上，满足规范最低1.1倍的要求。

(二) 隔震支座计算

罕遇地震下支座拉应力及压应力验算分别采用以下两种组合：1.0×恒载±1.0×水平地震-0.5×竖向地震；1.0×恒荷载+0.5×活荷载+1.0×水平地震+0.5×竖向地震。<sup>[5]</sup>在罕遇地震作用下，支座产生的最大压应力为48.7MPa（小于规范对于摩擦摆支座最大压应力限值60MPa的要求），出现在23号支座FPS2H；部分支座出现脱离，分别出现在7，8，15，26，29号支座，需通过设置抗拉装置满足规范要求。

隔震层最大水平位移均小于产品水平极限位移的0.85倍，本项目所选支座极限位移均为350mm，满足要求。

(三) 性能水平

软件多工况包络的性能水平云图（图3）显示，整个塔楼及盖下结构可以达到隔标1.0.3条要求<sup>[2]</sup>。隔震层以上部分连梁为轻度损坏，剪力墙等竖向构件多数无损坏仅部分轻微损坏；隔震支座上支墩无损坏处于弹性状态，支墩上框支转换梁多数为轻微损坏、部分轻度损坏；隔震支台下支墩无损坏处于弹性状态；大底盘关键构件多数为轻度损坏。抗剪截面通过剪压比 $V/f_c b h_0$ （设计值）控制，其中竖向构件限值为0.15，水平构件跨高比大于2.5时为0.2，跨高比不大于2.5时为0.15，上支墩、下支墩、转换梁等关键构件均未超限，在罕遇地震下各关键构件抗剪处于弹性状态。

盖上及盖下结构均能达到“大震可修”的性能目标<sup>[6]</sup>，各关键构件罕遇地震下也可实现前述表1所列性能目标。

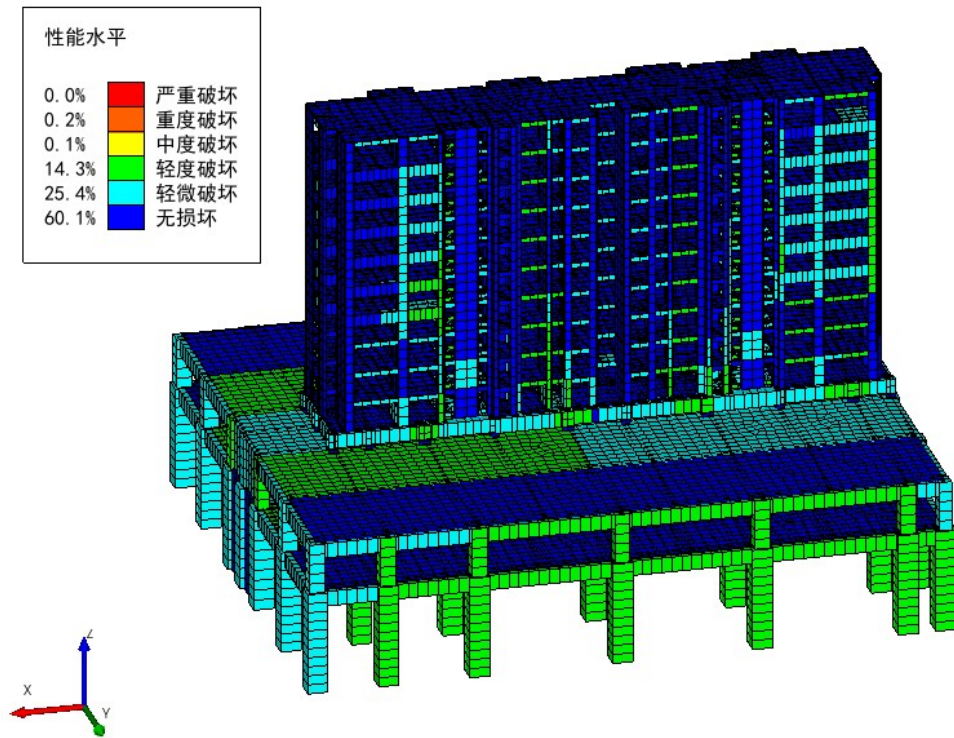


图3 性能水平

六、结语

(1) 经过合理设置摩擦摆隔震支座，明显减小了上部结构地震作用，塔楼底部剪力比不大于0.5，上部塔楼结构可按降低一度采取抗震措施，达到减震目标<sup>[2]</sup>。

(2) 中震下反应谱法及弹性时程补充分析、罕遇地震下弹塑性时程分析结果表面，隔震层、下部结构及上部结构均能实现既定的性能目标。

(3) 多数摩擦摆支座可以满足应力及位移要求，个别支座在罕遇地震下出现脱离现象，需要增加抗拉装置。

参考文献

[1] 尚泽宇，吴垠龙，等. 层间隔震在地铁车辆基地

上盖开发中的应用[J]. 建筑结构, 2017, 47(8): 98-101.  
 [2] 建筑隔震设计标准: GB/T 51408-2021[S]. 北京: 中国计划出版社, 2021.  
 [3] 建筑抗震设计规范: GB 50011-2010[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.  
 [4] 建筑与市政工程抗震通用规范: GB 55002-2021[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2021.  
 [5] 孙宝权, 铜都街道农村无建房能力特困人员易地搬迁集中供养一期工程项目隔震结构设计[J]. 建筑工程技术与设计, 2018(18): 55-57.  
 [6] 高层建筑混凝土结构技术规程: JGJ3-2010[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.