

某档案馆裙楼结构设计

王晓明

同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司 上海 200092

摘要:某档案馆项目,南侧裙楼平面尺寸约146.4m×34m,建筑高度10.6m,主体结构采用钢筋混凝土框架结构体系,局部大跨部位设置型钢混凝土梁柱构件。针对裙楼存在的扭转不规则、凹凸不规则、楼板局部不连续及穿层柱等多项超限不规则问题,针对频遇地震下的结构响应,分别采用YJK和MIDAS Building两种软件进行分析计算,并对比二者的计算结果;采用YJK软件对裙楼结构进行频遇地震弹性时程分析,选取2条天然波及1条人工波,通过时程分析得到的基底反力、层间位移角与反应谱分析结果接近,且满足规范限值要求;采用YJK软件进行了楼板应力分析,根据分析结果,对楼板薄弱部位增配钢筋。结果表明结构满足现行规范要求。所采用的设计方法与加强措施有效保障了复杂不规则结构的抗震安全性,可为类似工程提供参考。

关键词:特别不规则结构;加强措施;框架结构

0 引言

随着我国国家和地方经济和技术的逐步发展,各地档案馆的营建需求逐步增加。其中特级档案馆的结构设计和耐久性设计越来越多地成为档案馆设计和施工的重要组成部分,给结构设计师带来新的挑战。本文以某档

案馆为例,说明特级档案馆的结构设计难点和重点。

1 项目概况

某档案馆项目位于南京市秦淮区,属于特级、中央级国家档案馆,抗震设防类别为重点设防类,结构安全等级为一级。



图1 南侧裙楼正立面效果图

本项目地上共四个单体,分别为中部主楼^[1]、西侧裙楼、东侧裙楼和南侧裙楼。其中中部主楼为一般不规则的高层建筑,西侧裙楼和东侧裙楼为一般不规则的多层建筑,南侧裙楼为特别不规则的多层建筑。

南侧裙楼平面尺寸约146.4m×34.0m,建筑高度10.6m,建筑效果图见图1。南侧裙楼采用钢筋混凝土框架结构体系,局部大跨部位采用型钢混凝土梁,与型钢混凝土梁连接的混凝土柱内设置型钢以与型钢混凝土梁稳固连接。

南侧裙楼设防烈度为7度(0.1g),场地土类别为II类,设计地震分组为第一组,考虑设计使用年限,多遇地震影响系数最大值取为0.112,场地特征周期为0.39秒。

2 结构方案与布置

2.1 结构布置和特点

南侧裙楼平面尺寸约146.4m×34.0m,建筑高度10.6m,

考虑到建筑功能和立面造型特点,未设置永久变形缝。南侧裙楼整体上采用钢筋混凝土框架结构体系,主要柱跨为8.4m×8.4m。南侧裙楼存在三处大跨度开敞空间,参考国内相关或相似大型展厅类项目的实际工程经验^[2-5],同时结合建筑功能对一处20.8m跨主题展厅上空采用500×1200大跨度梁,通过梁跨中预起拱控制挠度;另一处25.2m跨度门头梁采用900×1950的型钢混凝土梁,内插型钢截面为H1750×600×30×50,两端设置型钢混凝土柱;另一处16.8m跨度的服务大厅天窗区域框架梁采用型钢混凝土梁,次梁采用普通钢筋混凝土梁,天窗区域梁配合建筑造型设置造型飞翼,兼做屋面排水沟,形成良好的光影视觉效果和建筑使用功能。

2.2 结构规则性判别

根据GB/T50011-2010《建筑抗震设计标准》(2016

年版) (以下简称《抗规》)第3.4节的规定, 南侧裙楼单体平面及竖向结构布置存在以下不规则情况:

(1) 扭转不规则: MIDAS Building和盈建科(YJK)的计算结果表明, 在考虑偶然偏心的规定水平力作用下, 屋面层Y向端部抗侧力构件弹性层间位移最大值与平均值之比分别为1.29(YJK)和1.29(MIDAS Building)。

(2) 凹凸不规则: 为了实现建筑外部体量和 Service 大厅内部空间的需求, 门头和服务大厅均设置了较大挑空。二层门头部位凹进尺寸大于相应边长的30%, 约占对应变成的63%, 并形成细腰形平面。

(3) 楼板局部不连续: 除了门头凹进处细腰形平面外, 二层主题展厅处为挑空, 对应部位的楼板有效宽度小于典型宽度的50%, 约为39%。

(4) 局部不规则: 门头凹进处和主题展厅处结构柱仅X向有框架梁连接, 形成Y向的穿层柱。

3 结构抗震分析

3.1 多遇地震作用下的结构分析

针对频遇地震下的结构响应, 本项目分别采用YJK与MIDAS Building两种软件进行分析计算, 提取主要的计算结果见表2。

对计算结果进行对比, 发现两种软件计算得到的结构总质量、自振周期、底层地震力数值相差较小(约1%~2%), YJK最大层间位移角计算结果略大于MIDAS Building, 但两者相差较小(约1%~2%), 且数据变化规律和基本形态是一致的。因此可以认为, 通过程序计算得到的分析结果是准确、合理的, 且满足现行规范的要求, 将计算结果用于工程设计是可靠安全的。

表1 YJK与MIDAS Building弹性分析结果对比

计算软件		YJK	MIDAS
结构总质量(t)		32899.574	31854.992
结构自振周期	T1(s)	0.6096	0.6052
	T2(s)	0.5740	0.5718
	T3(s)	0.5356	0.5320
周期比 T_t/T_1		0.88	0.88
底层地震力	X向	17410.97	16847.27
	Y向	16475.10	16035.04
层间位移角(地震)	X向	1/976	1/987
	Y向	1/809	1/821

3.2 弹性时程分析

采用YJK软件对南侧裙楼进行小震弹性时程分析, 选取2条天然波和1条人工波, 多波的平均地震影响系数曲线与振型分解反应谱法曲线在统计意义上相符, 如图2所示。

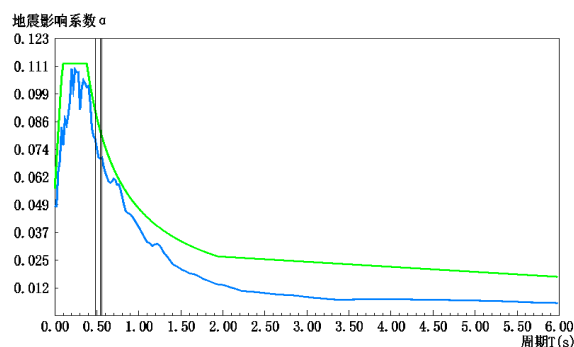


图2 规范谱与反应谱对比图

计算结果见表2, 每条时程曲线计算得到的基底剪力均大于反应谱法的65%, 多条时程曲线计算得到的结构底部剪力平均值大于振型分解反应谱法计算结果的80%, 满足规范要求。

表3 弹性时程结果与反应谱结果对比

计算结果		反应谱	弹性时程
最大楼层剪力(kN)	X向	17013	14742
	Y向	16444	15093
最大层间位移角	X向	1/976	1/1109
	Y向	1/809	1/866

弹性时程分析得到的基底反力、层间位移角等关键指标与反应谱分析结果接近, 且满足规范限值要求, 裙楼结构没有明显的薄弱层。

3.3 静力弹塑性时程分析

针对罕遇地震下的结构响应, 本项目采用YJK软件进行了静力弹塑性时程分析, 计算出结构性能点。在结构性能点处, 南侧裙楼两个方向的层间位移角分别是1/240和1/239, 满足规范罕遇地震下的变形要求。

在整个推覆过程中, 个别框架梁的梁端首先出现在了塑性铰, 随后其范围在各层梁端不断扩展, 结构达到其大震性能点。当结构的各层连梁端的大量出现塑性铰, 框架柱端出现少量塑性铰时, 控制点达到目标位移。从以上发展过程看, 整体上满足强柱弱梁的相关要求, 结构的破坏顺序、塑性发展和损伤机制较为合理。

4 楼板应力分析

为确保楼板在地震作用下的工作性能, 加强结构的整体性, 保证抗侧力构件协同工作, 弹性膜假定考虑楼板的作用, 并借助YJK软件进行楼板应力分析, 以在楼板的局部薄弱部位采取对应的加强措施。

4.1 多遇地震作用下的楼板应力分析

分析结果表明, 在频遇地震工况下, 二层楼板最大拉应力为0.6MPa, 屋面板最大拉应力为1.0MPa, 楼板应

力最大处主要分布在楼板凹进部位及大开洞区域。二层楼板混凝土强度等级为C30,其抗拉强度标准值为2.01MPa;屋面板混凝土强度等级为C40,其抗拉强度标准值为2.39MPa。因此可知,频遇地震工况下楼板的最大拉应力均小于混凝土的抗拉强度标准值,楼板处于弹性状态。

4.2 罕遇地震下的楼板应力分析

分析结果表明,在罕遇地震工况下,约90%的楼板拉应力小于等于对应区域混凝土的抗拉强度标准值,仅小部分应力集中处的楼板拉应力较大(局部区域达2.8Mpa)。施工图设计过程中,结合计算结果,对楼板钢筋采用双层双向通长布置,地震作用下楼板凹进部位及大开洞区域的板应力考虑全部由楼板内的钢筋承担。

5 结构抗震加强措施

针对结构体系存在的多项不规则特征及薄弱环节,本工程采取了以下抗震加强措施。

5.1 楼板局部不连续的加强措施

由于建筑使用功能挑空导致的楼板传力路径中断及结构平面刚度削弱,采取将洞口周边楼板加厚至不小于130mm,并且采用双层双向配筋,薄弱处额外增设附加钢筋的加强措施。楼板面内刚度提高后,频遇地震工况下楼板将处于弹性状态,同时满足罕遇地震作用下钢筋应力不超过屈服强度的性能目标。

5.2 扭转不规则的加强措施

根据《抗规》关于双向地震作用的规定,本工程采用扭转耦联反应谱法进行结构分析。在设计过程中,通过增强结构外围抗侧力构件的截面尺寸,有效地控制了结构扭转响应。

5.3 凹凸不规则的加强措施

优化整体抗侧刚度分布,调整结构构件截面和布置,有效控制结构的扭转效应。

6 结论

(1) 南侧裙楼单体属于特别不规则的多层建筑。鉴

于本工程的设防烈度、场地条件、房屋高度、不规则的部位和程度以及经济性等方面的综合考虑,本工程结构抗震设计设定了与建筑物本身相匹配的较为合理的设防目标。

(2) 对南侧裙楼单体进行了频遇地震下的振型分解反应谱法的计算分析,结果表明结构的周期、振型、位移指标、刚度、内力等均满足规范要求。两种不同程序的计算结果基本一致,其变化规律、形态亦基本相同。

(3) 进行了频遇地震下的弹性时程响应分析,时程分析方法显示结构的反应特征、变化规律等关键信息与振型分解反应谱法的分析结果基本一致。

(4) 进行了静力弹塑性PUSHOVER分析,结果表明在罕遇地震作用下,结构的塑形发展合理,具有良好的延性耗能能力。

(5) 通过有限元方式,进行了地震工况下的楼板应力分析,楼板在频遇地震作用下大部分区域处于弹性状态,罕遇地震工况下局部应力较高处的楼板采用附加配筋进行加强。

综上所述,南侧裙楼采取上述加强措施后具有良好的抗震能力,安全可靠,能达到预定的抗震目标。

参考文献

- [1]于发杨,陈凯,季跃.中国第二历史档案馆新馆项目主楼结构设计[J].建筑结构,2022,52(S2):178~180
- [2]冯国明,闫学敏.某中学综合教学楼特别不规则结构抗震设计[J].浙江建筑,2026,43(1):44~49
- [3]周杰,杨臻,李梓捷.等.成都某商业综合体结构设计重难点分析[J].四川建筑,2025,45(2):61~64,68.
- [4]李俊军.某特别不规则展示中心结构设计分析[J].上海建设科技,2024(3):19~24.
- [5]王玲.遵义市大剧院结构设计[J].建筑结构,2021,51(18):74~81.