

抗震设计在房屋建筑结构设计中的应用

郑春文

四川省建筑设计研究院有限公司

摘要: 随着城市现代化进程不断加快, 各类高层、超高层、综合体的不断修建, 对房屋建筑结构设计也愈发关注, 特别是在抗震设计方面。需根据各个项目的实际情况, 采用合理的结构方案、有效的结构措施, 才能提高房屋结构的设计质量和安全性。本文根据实际工程应用, 采取合理的结构抗震措施, 为同类工程设计提供一些参考。

关键词: 房屋建筑; 结构设计; 抗震设计; 应用

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.14.083

我国东邻太平洋地震带, 南接欧亚地震带, 地震分布广泛, 由于我国所处地理位置, 地震情况复杂, 从历史情况来看, 全国大部分地区都发生过较强烈性的地震破坏, 不少地区现代地震活动还相当严重^[1], 如5.12汶川特大地震、芦山地震, 这些地震不仅造成了大量的人员伤亡, 还产生了各种次生灾害, 造成了不可估量的经济损失。所以建筑抗震越来越受重视, 抗震设计更是房屋建筑结构设计中的重点内容。

一、工程概况

本项目位于成都市双流区中和片区(属于《中国地震动参数区划图》GB18306-2015表C.23中项目所在名称为双流县中和街道)。本项目规划总面积约为2万m², 地下室面积为5000m²。由一栋教学及办公楼, 一栋食堂+体育馆, 一个报告厅及一个运动场组成, 其中运动场无地下室, 教学及办公楼、食堂+体育馆及报告厅由地下室连通, 地上设防震缝脱开, 防震缝宽为150mm; 地下室功能主要为停车库及设备用房, 地上功能主要为教室、办公室、食堂、体育馆及报告厅。本文主要介绍教学楼及办公楼的结构分析与设计。

教学楼及办公楼教学规模为24个班, 有一层地下室, 地下层高为5.4m, 地上五层, 一层层高为4.2m, 其余各层层高为3.9m, 房屋总高度为20.350m。采用现浇混凝土框架结构。根据《建筑工程抗震设防分类标准》(GB50223-2008)^[2]第6.0.8条, 小学教学用房抗震设防类别应为重点设防类(乙类), 抗震等级按《建筑抗震设计规范》(GB50011-2010)[2016版]^[3]表6.1.2抗震等级为二级。设计基本参数详表1.1

表1.1 设计基本参数

主体结构设计使用年限	50年	主体结构耐久性年限	50年
结构安全等级	一级	结构重要性系数	1.1
基本风压	0.3 kN/m ²	地面糙度	B类
基本雪压	0.1 kN/m ²	地基基础设计等级	乙类
抗震设防烈度	7度	设计基本地震加速度	0.1g
设计地震分组	第三组	多遇地震时水平地震影响系数最大值	0.08
场地类别	II类	特征周期为	0.45s
结构阻尼比	0.05		

注: 基本风压与基本雪压取值均为50年一遇。

二、基础设计

本项目位于成都平原, 拟建场区东侧距龙泉山褶断带较近, 但该区域内断裂构造和地震活动相对较微弱, 历史上也没有发生过强烈地震, 因此该区域从地壳稳定性的角度来看应该还是比较稳定区。本工程建设场地位于非地质构造带, 场地属较稳定区, 场地现状整体稳定性较好, 比较适合建筑, 场地土层主要为杂填土、素土、粉质黏土、粉土、中(细)砂及卵石层, 卵石层上部以松散~稍密为主, 局部夹中砂透镜体; 下部以中密及密实为主, 局部夹杂有松散或稍密的卵石透镜体, 卵石层以上的细砂层属可液化土层, 液化等级轻微~中等。

根据上部荷载情况及基础埋深, 此部分结构基础采用柱下独立扩展基础, 基础间设置防水板, 防水板厚度为400mm, 持力层为松散的卵石层。可液化的细砂层主要位于基础上部, 针对局部基底卵石层下有细砂的情况, 采取C15素混凝土填来消除细砂液化的影响。

三、抗浮设计

本项目场地属一级阶地^[4], 丰水期最高水位482.00m及室外地坪标高以下1.00m中较高值考虑, 故抗浮水位标高为485.700m(±0.000的绝对高程为486.700), 采用上部结构自重+抗浮锚杆来抵抗水浮力作用, 锚杆进入卵石层不少于8m, 锚杆直径为150mm, 锚杆钢筋采用HRB400E型钢筋, 布置间距为1.8m×1.8m, 单根锚杆抗拔承载力为57kN/m²。

本项目所在场地基础下部持力层虽然是透水性的卵石层, 但场地上部主要是素土、粉土等弱透水土层, 所以基坑肥槽回填时仍然要求采用弱透水性或不透水性材料(如素土)回填, 以防止在短时暴雨时, 雨水可能向基底汇聚, 造成地下水位上涨, 避免短期内的抗浮不足。

四、结构计算结果

教学楼部分使用的是中国建筑科学研究院的PKPM系列SATWE软件进行结构计算, 主要的计算结果详表4.1。

表4.1 教学楼主要结构计算结果

结构特征参数		计算结果	
第一振型	周期T1	1.1727	
第二振型	周期T2	1.0972	
第三振型	周期T3	1.0339	
周期比T1之比 (Tt/T1)		0.88	
X向地震作用	有效质量系数	98.84%	
	剪重比 (Vx)	4.39%	
Y向地震作用	有效质量系数	98.72%	
	剪重比 (Vy)	4.00%	
最大层间位移角	X向地震作用下 (θ_{ex})	1/855	
	X向风荷载作用下 (θ_{wx})	1/7510	
	Y向地震作用下 (θ_{ey})	1/720	
	Y向风荷载作用下 (θ_{wy})	1/7218	
最大层间位移与平均层间位移比	Umax/u	X-0.05	1.15
		X+0.05	1.16
	Umay/u	Y-0.05	1.08
		Y+0.05	1.18
结构刚度比及受剪承载力验算结果	本层塔侧移刚度与相邻上层的70%或其上相邻三个楼层侧向刚度平均值的80%的比值	Ratx	>1.0
		Raty	>1.0
	层间受剪承载力与相邻上层受剪承载力的比值	Bux	1.00
		Buy	0.94
结构整体稳定验算	X向刚重比	>20	
	Y向刚重比	>20	
	结论	不考虑重力二阶效应	

根据表4.1结果，教学楼的结构承载能力及弹性变形均满足规范要求。

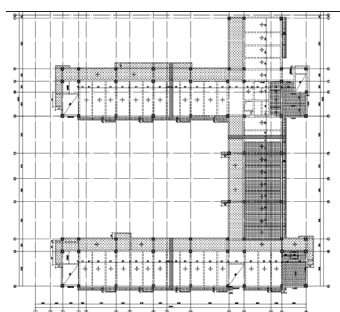
五、结构规则性分析

此部分结构为多层建筑，典型的结构平面布置图详图一，模型三维图详图二，结构的规则性分析判断

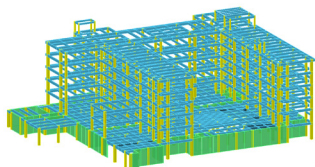
按照《建筑抗震设计规范》(GB 50011-2010) (2016年版) [3] 第3.4节相关规定进行分析。部分不规则项参考《四川省抗震设防超限高层建筑工程界定标准》(DB51/T5058-2014) [5] 进行辅助判断，判断结果详表5.1。根据表5.1结果，此部分结构为凹凸不规则结构。

表5.1 教学楼结构单元平面及竖向不规则项判定表

不规则类型	判定项目
(1) 扭转不规则	A. 位移比 1.18<1.2 B. 周期比0.88<0.9
(2) 凹凸不规则	A. 平面基本形状: F形; B. 单侧凹进和两侧凹进: l/Bmax=40.3/59.5=67.7%>35%; C. 细腰型平面: 否; D. 结构长宽比<6; 高宽比<4; E. 角部重叠: 无;
(3) 楼板局部不连续	A. 有效楼板宽度小于该层楼板典型宽度的50%: 无 B. 开洞面积大于该层楼面面积的30%: 无 C. 错层楼层: 无;
(4) 侧向刚度不规则	A. 楼层侧向刚度比与相邻上层侧向刚度的比值: >70%; B. 楼层侧向刚度比与上相邻三层侧向刚度的平均值的比值: >80%; C. 不存在上部楼层收进、竖向外挑、多塔、加强层、连体结构等情况;
(5) 竖向抗侧力构件不连续	A. 不存在竖向构件间断、转换等情况;
(6) 楼层承载力突变	A. 层间受剪承载力与相邻上层受剪承载力比值>80%;



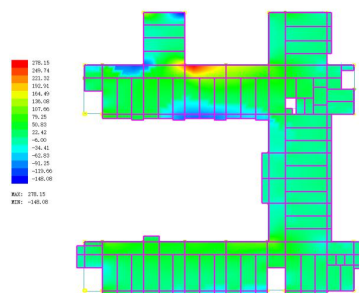
图一 教学楼 典型结构平面布置图



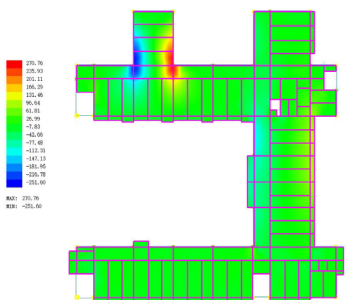
图二 教学楼 模型三维图

六、地震作用下楼板应力计算

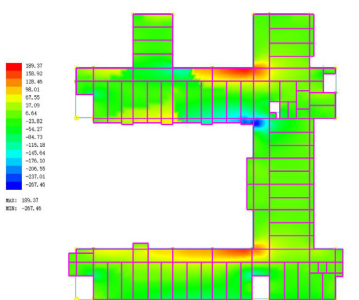
教学楼单元由于其平面不规则，地震作用下在转角位置及开洞周边容易形成应力集中，因此结构计算时对全楼楼板设置为弹性板6模拟楼板的平面内和平面外的刚度，并采用PKPM-SAP设计软件对全部楼板进行了应力分析，分析了设防地震作用下的楼板应力分布情况，分析结果详附图三~附图六：



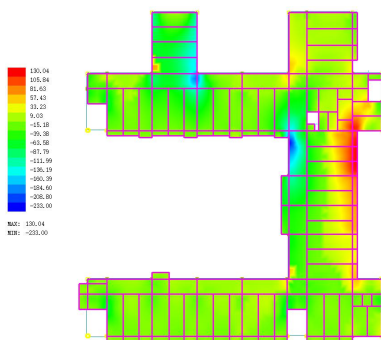
图三 典型楼层X向设防地震楼板面内X向正应力



图四 典型楼层X向设防地震楼板面内Y向正应力



图五 典型楼层Y向设防地震楼板面内X向正应力



图六 典型楼层Y向设防地震楼板面内Y向正应力

在设防地震工况作用下，根据图三~图六的计算结果，楼板的正拉应力最大值约为0.3MPa，楼板混凝土强度等级为C30，正拉应力小于1.43MPa（混凝土轴心抗拉强度），这表明在设防地震工况下，楼板可以保证处于弹性工作状态。另外，在结构阴角位置的楼板应力相对较大，故在施工图阶段应加强结构阴角位置的楼板厚度配筋。

七、采取的抗震措施

- 1) 在结构在设计时增加外围及角部框架梁及框架柱的截面，以控制结构的扭转，以提升结构的抗扭刚度。
- 2) 针对平面因楼梯间造成楼板削弱的位置及结构阴角部位，适当加厚楼板厚度并加强配筋。
- 3) 本工程抗震设防类别为乙类，填充墙的构造作法上都按照抗震设防烈度为8度的要求进行。
- 4) 屋面女儿墙采用现浇钢筋混凝土女儿墙。
- 5) 楼梯作为逃生安全通道，采用滑动支座以释放楼梯梯板刚度，保证了在地震作用下的安全。
- 6) 剪跨比不大于2的柱及与楼梯平台相连的柱，按抗规6.3.9条全高加密，且体积配箍率不小于1.2。
- 7) 角柱箍筋全高加密。

结语

在多遇地震作用下，教学楼部分的结构承载能力及弹性变形都达到了规范要求，楼梯采用滑动支座，保证了楼梯在地震作用时楼梯间的使用安全，对楼板在地震作用下作了专项分析，明确了楼板的薄弱部位，工程中以便于针对性的进行加强。

综上随着城市现代化进程不断加快，各类建筑的不断新建以及建筑不断追求立面造型的新颖性和建筑功能的复杂性，导致结构设计要求越来越高，结构设计时应根据各项目的实际进行专门分析，针对结构抗震的薄弱部位采取合理且有效的加强措施，才能有效的提高房屋建筑结构抗震设计水平，进而保障结构的整体稳定性和安全性。

参考文献

- [1] 王社良. 抗震结构设计 (第2版). 武汉理工大学出版社[M]: 6-7.
- [2] 《建筑工程抗震设防分类标准》(GB50223-2008) [S] 北京: 中国建筑工业出版社.
- [3] 建筑抗震设计规范: GB50011-2010 (2016版) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社.
- [4] 成都市建筑工程抗浮锚杆质量管理规程. 成建委[2018] 573号文
- [5] 混凝土结构设计规范 (GB50010-2010) (2015版) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社.