

浅析建筑结构体系选型对房屋结构设计的影响

赵杨

四川大学工程设计研究院有限公司

摘要：改革开放以来，受经济快速发展的利好影响，建筑行业的发展也取得了突出的成就。随着新材料的运用，施工技术的迭代更新，各种技术规范标准的实施，都对建筑业的发展起到了正向推动作用。随着社会的发展进步，人们对居住、办公环境有了更高的要求，从前人们对房子的定位仅仅停留在“遮风避雨”的单一功能，现在，人们要求其是一个集安全、舒适、智能、能可持续发展的综合体。本文着重从建筑“安全性、经济性、适用性”三个方面，重点分系不同结构体系的选择对房屋建筑设计的影响，为同类工程设计提供参考依据。

关键词：安全性；经济性；适用性；结构体系；结构设计

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.05.094

我国属地震高发国家，以四川省为例，全省域内含有多条地震带。从众多地震带周边的人口分布来看，其中尤其以名山-马边-昭通地震带，龙门山地震带周边人口最稠密，且地震也最活跃。地震造成的经济损失也最大。自有记录以来数据显示，四川省全年遭受地震次数占全球地震总数的10%。近年来，如“5.12汶川大地震”，芦山地震等，震级均在7.0级以上，震区房屋出现大面积损坏、垮塌，地震引发大面积山体滑坡、堰塞湖等次生灾害，给当地人民生命财产造成极大的损失。随着我国经济社会加速发展的加速以及行业规范的不

断完善，工程师们越来越重视房屋结构体系选型及房屋抗震设计。

一、工程概况

本项目位于四川省某地级市，项目为某大型企业生产办公综合用房。规划建筑面积7324m²，地上6层，地下1层，其中地上建筑面积4784m²，主要功能为食堂餐厅、各类工器具室、档案室、会议室、办公室、调度指挥中心、应急指挥中心等生产、办公用房；地下建筑面积2540m²，主要功能为设备房及车库。

本生产综合用房地地下室层高5.1米（主楼部分），纯地下室部分层高3.9米，一层层高4.2米，二~五层层高3.7米，六层层高4.2米，房屋总高度23.60米。根据《建设工程抗震管理条例》（2021年版）^[1]第十六条规定：“学校、幼儿园、医院、养老机构、儿童福利机构、应急指挥中心、应急避难场所、广播电视等建筑，应当按照不低于重点设防类的要求采取抗震设防措施”^[1]。因本建筑具有使用功能上的特殊性，其兼具区域应急指挥中心功能，根据规定，其抗震设防类别为重点设防类（乙类）。

根据《建筑抗震设计规范》（GB50011-2010）^[2]、中国地震动参数区划图（GB18306-2015）^[3]，《建筑结构荷载规范》（GB50009-2012）^[4]，本地区抗震设防烈度为7度，设计基本地震加速度值为0.10g。具体设计参数见表1.1：

表 1.1 设计参数

主体结构设计工作年限	50年	基本风压（按50年一遇取值）	0.30KN/M ²
抗震设防烈度	7度	基本雪压（按50年一遇取值）	-
水平地震影响系数最大值	0.08	地面粗糙度	B类
特征周期	0.4	结构重要性系数	1.1
设计基本地震加速度	0.10g	建筑结构安全等级	一级
设计地震分组	第二组	嵌固端	基础顶
建筑场地类别	II类		

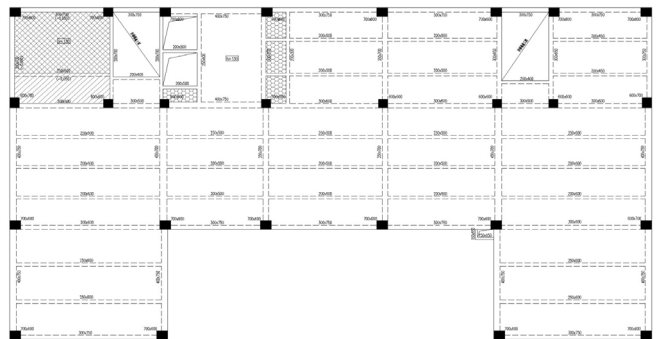
二、典型结构平面布置

针对本项目，本次主要选择框架结构，框架-剪力墙结构两种结构型式进行对比，以“安全性、适用性、经济性”三个方面为切入点，对本项目进行整体分析。

（一）方案一：框架结构型式

查《建筑抗震设计规范》（GB50011-2010）2016年版^[2]表6.1.2可知，框架抗震等级：二级。典型结构平面布置如图一：

典型截面尺寸（单位：mm）：框架柱中柱：800×800，600×600，边柱：700×600，外围框架梁300×750，400×750，内部框架梁350×700，450×700

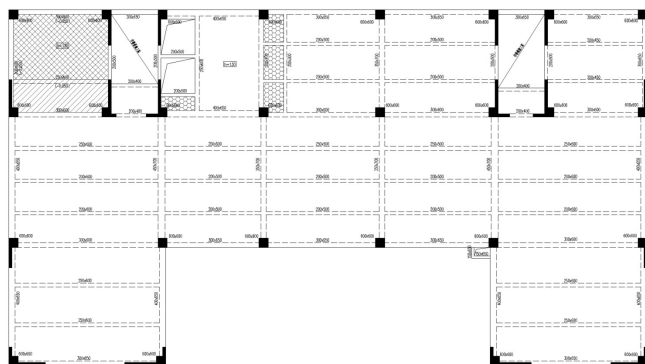


图一：方案一框架结构典型结构平面布置图

等，全楼混凝土强度等级分别为：二层板面及以下：C40，二层板面~四层板面：C35，四层板面及以上：C30，全楼梁、板：C30。全楼钢筋均采用HRB400级。

(二) 方案二：框架-剪力墙结构型式

查《建筑抗震设计规范》(GB50011-2010) 2016年版^[2]表6.1.2可知，框架抗震等级：三级，剪力墙抗震等级：二级。典型结构平面布置如图二：



图二：方案二框架-剪力墙结构典型结构平面布置图

典型截面尺寸(单位：mm)：剪力墙截面宽度：200~300，框架柱中柱700×700，600×600，边柱：600×600，外围框架梁300×650，400×650，内部框架梁350×700，450×700等，全楼各层混凝土强度等级及钢筋强度等级均取与框架结构一致，以缩小两种结构体系对比的附加条件。

结构整体计算分析软件采用YJK4.3.0-SATWE，具体计算过程不再赘述，本文仅根据计算结果对比，以分析结构体系的合理性。具体结构计算特征参数指标如表二所示。

三、设计结果对比分析

在同等计算条件下，根据计算结果对比可知，方案一框架结构周期较大，第一、二振型有明显的扭转效应，周期比0.89，趋于规范要求限值最大值。原因在于框架结构抗侧力构件侧向刚度较小，外围刚度偏柔。为满足结构各项参数指标要求，必须加大梁、柱截面，“肥梁、胖柱”将不可避免。在地震来临时，框架柱作为抵抗地震能量的第一道防线，能否有效抵抗地震力的破坏，事关整个建筑的结构安全。而方案二，在尽最大限度不影响建筑功能布局的前提下，通过在建筑外围、角部，楼梯间，电梯井等处布置剪力墙，使结构外围周边刚度增加，同时，缩小内部框架柱、梁截面尺寸，以削弱内部刚度，通过“有增有减，刚+柔”的调整方式，使其布置更合理。计算结果可知，第一、二振型平动系数占比95%以上，第三振型扭转，扭转系数94%，周期比0.70，远小于规范要求的限值。

周期比主要控制不是要求结构刚度足够大，足够结实。结构设计也要讲究“刚柔相济”，历次震害及实验表明，刚度越大，吸收的地震作用就越大，材料用量也会增加，反之亦然。所以控制周期比的目的是使结构布置更合理，使结构不出现过大的扭转效应。因此，框架-剪力墙结构抵抗变形的能力强于框架结构。

在不考虑偶然偏心的情况下，在多遇地震标准值作用下的位移比，框架结构远大于1.2，框剪结构远小于1.2。对比可知，框架结构位移比接近规范限值的高值，安全储备明显不足。位移比反映了楼层结构的整体扭转效应，明显框剪结构抗扭刚度更大，更有利。在刚性楼板假定的前提条件下，对结构扭转位移比的控制，是反应结构平面规则性与否的判定依据之一。很明显，采用框架+剪力墙结构的布置形式，平面布置更规则对

表二：结构计算特征参数指标

结构计算特征参数指标			计算结果对比	
			方案一：框架	方案二：框架-剪力墙
结构自振周期	第一振型-平动	周期 T1	1.3600	1.0136
	第二振型-平动	周期 T2	1.3282	0.8807
	第三振型-扭转	周期 Tt	1.2104	0.7534
周期比 (Tt/T1)			0.89	0.70
X 向地震作用	有效质量系数		99.69%	99.59%
	剪重比 (Vx)		2.94%	2.889%
Y 向地震作用	有效质量系数		99.89%	99.06%
	剪重比 (Vy)		3.20%	2.978%
最大层间位移角	X 向地震作用 (θ _{ex})		1/610	1/994
	X 向风荷载作用 (θ _{wx})		1/5816	1/9999
	Y 向地震作用 (θ _{ey})		1/718	1/1166
	Y 向风荷载作用 (θ _{wy})		1/3547	1/9376

最大层间位移与平均层间位移比	U _{max} /u	X-0.05	1.23	1.08
		X+0.05	1.27	1.14
	U _{may} /u	Y-0.05	1.30	1.14
		Y+0.05	1.32	1.15
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	Rat _x	> 1.0	> 1.0
		Rat _y	> 1.0	> 1.0
	层间受剪承载力与相邻上层受剪承载力的比值	Bu _x	1.0	1.02
		Bu _y	0.96	0.99
稳定验算	X 向刚重比		> 20	> 2.7
	Y 向刚重比		> 20	> 2.7
	结论		不考虑重力二阶效应	不考虑重力二阶效应
竖向构件最大轴压比			0.70 < 0.75	0.71 (框架柱) < 0.90 0.41 (剪力墙) < 0.60

称，抗震能力更强，更符合本项目的实际需求。

同时，本项目中框架结构抗震等级为二级，框架-剪力墙抗震等级分别为框架三级，剪力墙二级。对比可知，框架结构中框架梁柱抗震等级较高，钢筋多，施工困难。经初步测算，框架结构含钢量约66Kg/m²，框架-剪力墙结构含钢量约42Kg/m²，明显框剪更经济。且框架梁柱配筋较大，梁柱节点处，配筋密，难以保证梁柱节点核心区混凝土浇筑质量，存在安全隐患。

四、优缺点分析

方案一框架结构的主要优点：建筑空间布局设置灵活多变，自身重量轻，有利于抗震，节省材料，建筑空间大，方便使用及后期改造，低烈度区多层建筑普遍采用此结构型式。

方案一框架结构主要缺点：结构侧向刚度较小，抗震能力较弱，在强震作用下，会产生较大的水平位移。高层建筑不适宜采用此结构型式。结构计算为满足规范要求的各项参数指标，会导致柱梁截面较大，且钢材、混凝土用量较大，且单一抗震防线，不利于抗震。

方案二框架-剪力墙结构的优点：采用剪力墙+框架的多道抗震防线，水平力作用下侧移小，抗侧刚度大，框架+剪力墙组成的多防线抗震体系，更有利于抗震。

方案二框架-剪力墙结构的缺点：剪力墙可能会导致建筑平面功能布置受限，甚至有时候会牺牲建筑功能以满足结构竖向构件布置要求，对使用上要求有大空间的公共建筑有一定的局限性。

综上，框架-剪力墙体系由延性框架和剪力墙两个体系组成，剪力墙由于侧向刚度大，成为抗震的第一道防线，框架则是抗震的第二道防线。历次震害调查均表明，破坏性强震具有持续时间长，脉冲往复次数多等特点。框架结构房屋，仅框架柱一道抗震防线，一旦破

坏，持续不断地余震将会造成房屋倒塌。当房屋采用多道防线时，第一道防线破坏后，后续防线能接替抵抗后续地震的反复冲击，从而保证房屋最低限度的安全，避免房屋的倒塌，最大限度的保证了人们的生命财产安全。本项目中，剪力墙的布置并没有影响建筑功能布局，通过计算分析，框剪体系抗震性能更好，结构安全性更高，经济性更好。

结语

随着我国经济社会发展的加速，建筑业发展越来越快。在建筑设计环节，工程师们一定要多方案对比，选择合适的结构体系，在保证房屋结构安全前提下，实现投资效益的最大化，为人们呈现出安全、经济、适用的建筑作品。结构安全与结构设计经济性本就相互制约。日常工作中，结构工程师常常被要求降低结构或构件的安全度来达到投资方对经济性的要求。规范提出的结构安全要求是结构设计的最低要求，结构工程师应秉持基本的职业操守，必须严格遵照执行。只有各位工程师在日常工作中，不断钻研、探索、反复对比论证，以尽最大限度做到结构安全与结构经济性的完美契合。

参考文献

- [1]《建设工程抗震管理条例》(2021年版)
- [2]建筑抗震设计规范: GB50011-2010(2016版)
- [S].北京:中国建筑工业出版社.
- [3]中国地震动参数区划图: GB18306-2015[S].北京:中国标准出版社.
- [4]建筑结构荷载规范: GB50009-2012[S].北京:中国建筑工业出版社.

作者简介:赵杨(1985.07-),男,汉族,四川省成都市,本科,工程师,研究方向:建筑结构设计。