

建筑结构设计优化分析

罗 涛

陕西省建筑设计研究院（集团）有限公司 陕西 西安 710000

摘 要：结构设计成果的安全、适用、经济，是结构设计师的工作追求，本文从结构方案、结构体系、地下车库楼盖的合理选取，基础形式的多方案比较，施工图设计阶段注意事项等几个方面分析建筑结构设计优化应该注意的问题及优化设计的原则和措施。

关键词：结构设计优化；结构体系；楼盖形式

引言：近些年的房地产行业，已由高利润阶段逐步转入低利润阶段，面对不断攀升的土地与建安成本，利润空间被严重压缩，如何有效降低建安成本，且不影响建筑品质，实现效益最大化，这迫使房产企业必须通过合理有效的措施来降低成本，提高企业的市场竞争力。另一方面设计市场比较混乱，设计院设计水平良莠不齐，设计周期越来越短，设计人员为尽快出图，压根没有时间和精力进行结构方案比较，采用常规经验和惯例作为判断标准，会存在一些浪费和重复的设计。为此，结构设计优化显得尤为重要。

1 结构设计优化的现实意义

对结构设计进行必要的优化意义重大，建筑结构设计优化以先进的结构分析设计方法对结构设计进行深化、调整、改善与提高，不仅能够满足建筑的使用功能，而且还能有效地控制造价成本，可以达到“物美价廉”的效果。对于开发商来说，希望以最小的投资获得最大的收益，又必须对建筑结构的可靠性、安全性做出保证，在所有的设计优化中，结构设计优化空间最大，最有成本控制的意义，是优化的重点。

2 对结构设计优化的认识

结构设计优化是一个复杂的过程，与建筑造型、建筑功能、房屋高度、项目归属、工程地质条件、荷载要求、设计参数选取、施工技术条件、抗震设防要求、工期要求、投资预期等诸多因素有着紧密的关系。正确的结构优化不是简单的节约用钢量，而是系统的、整体的优化。优化后的结构不仅更经济，而且安全度更高，建筑空间更合理。

结构设计优化不是以降低结构安全度和抗震性能来求得经济效益的，而是“物尽其用”，做到有的放矢。在满足各种规范要求的前提下，通过进行多方案比较，反复计算得到一个安全、经济、合理的设计成果。通过结构布置合理分配刚度、增大结构延性等措施使结构更

加合理，从而提高其安全性。

3 建筑结构设计优化方式

建筑结构设计优化按照优化介入的时间点不同可分为过程优化和结果优化。

过程优化：是在项目一开始就介入并与设计同步进行的设计优化方式。过程优化为全过程服务模式，方案阶段分析论证外部设计条件，方案可行性试算，初步设计阶段对结构计算模型、计算参数，荷载取值、基础方案等进行调整，施工图阶段对梁、板、墙柱、楼梯、节点等配筋进行精细化校核，同时对原设计中不足的部分予以分析处理补强，避免造成工程后期的质量隐患。

结果优化：是在施工图设计完成后进行设计优化。通过对原设计图纸进行专业化和精细化的复核，并依据当地的设计要求提出优化意见；与设计院、勘察、图审等单位沟通落实优化意见。

过程优化经过事前控制、事中控制，省钱多，优化效果最好，不增加设计单位的工作量，甚至分担了部分工作量，不影响总体进度，可以实现“双赢”。

结果优化经过事后控制，省钱少，优化效果较差，容易错过省钱最多的时机。增加设计单位的工作量，设计单位容易产生心理障碍，设计院阻力大，增加设计周期，可能影响工期。所以在设计阶段，优先选择过程优化而避免结果优化。

4 建筑结构设计优化的内容

4.1 结构方案优化

4.1.1 建筑方案的合理性

合理的建筑体型和平面布置在结构设计中是极为重要的，要求在方案阶段建筑物竖向造型和平面布置比较均匀，质量分布与结构刚度分布相对协调，限制刚度与质量偏心。避免过大的外挑和内收，尽量不设转换层，尤其是高位转换，以使建筑形体符合规则性要求，这就需要结构工程师与建筑师及相关专业相互配合，结构设计应重视概

念设计环节,重视结构的选型和平面、竖向的规则性,明确竖向荷载和水平作用的传力途径,对所设计建筑的抗震性能有所估计,对承载力、刚度和延性的关系进行优化调整。从整体的角度来确定结构方案的总体布置和抗震细部措施的宏观控制,做到有的放矢。结构设计师应重视结构方案的技术合理性、实施的便利性和工程的综合经济性。

4.1.2 高宽比

建筑的高宽比,是对结构刚度、整体稳定、承载能力和经济合理性的宏观控制。高宽比主要影响结构设计经济性。高宽比越大,结构材料用量越多,主要对混凝土用量、梁和剪力墙的单位面积用钢量影响较大。

4.1.3 结构的刚度与延性的平衡

提高结构的侧向刚度,往往是以提高工程造价以及降低结构延性指标为代价的。以单纯构件尺度的变化来改变整体刚度,远不如对结构体系的概念调整更有效和经济。更需要注意的是,加大刚度是把双刃剑,结构刚度大,含钢量高,延性反而差,地震作用大,抗震性能低。延性的本质是提高结构的变形能力,控制构件的破坏形态,以柔克刚,充分发挥材料的性能,是安全、高效的解决方案。

4.2 结构体系优化

结构体系和结构形式的合理选取是结构设计首要环节,必须慎重对待,对地震区和高风区,应力求选用承载力高、抗风及抗震性能好的结构体系和结构布置方案,选用的结构体系应受力明确、传力途径简捷。同时,应结合工程特点,在结构安全及经济的前提下注重美观,满足建筑功能要求。

常见结构体系的结构布置遵循基本原则:

框架结构

在框架结构平面布置中,应尽量保持柱网一致性,布置要尽可能匀称,结构的受力要明确,承重隔墙宜采用轻质材料,楼梯不宜设置在房屋的端部,并相应减少边跨柱距,充分利用连续的受力特点以减少结构中的弯矩,使构件截面尺寸和刚度趋于一致,从而提高结构的整体刚度和抗震能力。

剪力墙结构

在剪力墙结构体系中,剪力墙是主要的竖向构件,剪力墙布置的优劣直接关系到整个结构的经济指标,在设计中做好剪力墙的布置,应采取以下措施:强周边、弱中部;多均匀长墙、少短墙;下厚上薄、逐步递减,沿高度均匀变化;多L、T、十字形墙肢、少复杂形状;各墙肢轴压比接近。按照此思路去布置剪力墙可以得到较大的平面刚度和抗扭刚度,结构平面布置和各项控制指标更趋于合理性,对于优化剪力墙布置的位置达到事半功倍的效果。

框架-剪力墙结构

框架-剪力墙结构是框架和剪力墙共同承担竖向和水平作用的结构体系,充分发挥了剪力墙抗侧刚度大的优势,解决整体结构对变形控制的需求,避免了框架体系梁柱构件尺度过大对使用空间的影响,框架满足了灵活空间使用的需求。剪力墙是主要的抗侧力构件,是第一道防线,在地震作用下,剪力墙先于框架损伤,框架部分应具有作为二道防线的能力,应具有一定的抗侧力能力。剪力墙布置应按照“均匀、分散、对称、周边”的基本原则考虑。

框架-核心筒结构

框架-核心筒结构是核心筒剪力墙作为主要的抗侧力构件,承担大部分水平力,框架不仅承担竖向荷载,还作为抗震设计的第二道防线,为结构提供更多的安全储备。核心筒平面布置时,墙肢宜均匀、对称布置,应尽量提高核心筒周边剪力墙的刚度,减小核心筒内墙厚度。内筒过小过偏,双抗侧力体系的第一道防线过弱,而且内筒偏置,其质心与刚心的偏心距往往较大,导致结构在地震作用下的扭转反应增大,会出现墙肢抗剪能力不足和墙体受拉较大问题,应避免。

4.3 地下车库楼盖经济性优化

影响地下车库的经济性的因素:柱网、建筑层高、覆土厚度及楼盖形式。

地下车库顶板通常有绿化覆土,且常有消防车荷载及设备荷载等,荷载较大,

其层高控制较为严格,净高较难满足建筑专业要求,关键在于选择合适的楼盖方案。

地下车库不同楼盖方案经济性指标表

柱网尺寸	楼盖形式	混凝土(m ³ /m ²)	钢筋(kg/m ²)	造价
大柱网	主梁大板	1.14	143.75	1453(100%)
	无梁楼盖	1.20	130.28	1390(96.2%)
长短跨	主梁大板	0.86	123.47	1232(84.8%)
	无梁楼盖	1.01	114.30	1220(84%)
小柱网	主梁大板	0.74	109.02	1107(76.2%)
	无梁楼盖	0.81	96.48	1052(72.5%)

根据以往分析测算结果及工程经验,各种柱网与顶板形式的成本分析结果如下:

1) 理论成本顺序为:小柱网 < 长短跨 < 大柱网,荷载越大、水位越高则成本差距越大;

2) 小柱网顶板结构布置建议采用大板(不设次梁)方案,经济性与无梁楼盖基本持平,但灵活性、适应性更好;

3) 长短跨柱网建议采用大板主梁方案或沿长跨设单向次梁方案(沿长跨设单向次梁方案适用于层高控制要求不高的工程,其含钢量比大板主梁要低);长短跨形式无梁楼盖在层高控制上略有利(无梁楼盖需考虑设备管线安装时与顶板预留一定的安装空间,层高控制优越性已差距不大),但从楼盖造价上与单向次梁相比偏高;

4) 大柱网建议优先采用无梁楼盖方案(附建地下室有嵌固要求的除外)。当因嵌固要求等情况需采用梁板结构时,对消防车道及登高面占比大的工程、设计时考虑板加腋或梁板协同工作的工程可优先采用主梁大板方案;最后结合顶板最小厚度的取值,具体分析采用井字梁或十字梁方案;

5) 不同柱网尺寸和结构形式组合方式在不同区域数据不一定会一致,但相互之间数据大小顺序基本一致。

4.4 基础设计优化

建筑物基础选型应根据工程地质、水文地质条件、建筑体型与功能要求、结构类型、荷载大小和分布情况、有无地下室、相邻基础情况、抗震设防烈度、建设当地施工条件和材料供应、经济合理性等因素综合考虑,选择经济、合理、适用的基础形式。

一般情况下,基础类型可按以下原则考虑:

1) 砌体结构:优先选择刚性条形基础;当基础宽度大于2.0m时,宜采用钢筋混凝土扩展基础;

2) 框架结构:地基较好时,选用柱下独立基础;地基较差时,则宜选用柱下条形基础或筏板基础。如有地下室且有防水要求时,应设置防水板,防水板的厚度不小于250mm;

3) 剪力墙结构:地基较好时,宜优先选用墙下条形基础。如有地下室且有防水要求时,应设置防水板或筏板基础;

4) 框架—剪力墙结构:可选用柱下独立基础、墙下条形基础加防水板。筏板基础、桩基础;

5) 框架—核心筒结构:可选用筏板基础或桩基础。

采用筏板基础时,在核心筒范围采用厚筏形基础,在框架柱范围采用“柱墩”或变厚度筏形基础。采用桩筏基础时,应强化核心筒区域桩基刚度(可采取局部加密布桩、采用较大直径的桩、适当加大桩长、后压浆等提高桩基承载力的措施),相对弱化核心筒区域外围桩基刚度(采用复合桩基、减小桩长、加大布桩间距)以实现变刚度调平设计,减小差异沉降。

6) 若地基土质较差采用天然地基不能满足承载力或沉降要求以及经济性较差时,需综合考虑工程造价、施工工期、雨期冬期施工等条件,可采用复合地基(如CFG桩、灰土挤密桩)或桩基(如PHC预制桩、灌注桩)。

5 建筑结构设计优化施工图设计阶段

该阶段有时候起着决定性作用。虽然已经有了前期的各项准备工作,但是设计院由于各种原因,有时未必会按照前期约定进行施工图设计。一旦偏离前期约定太多,极有可能出现设计超限额。本阶段的主要工作为:

1) 严格执行《结构设计统一技术措施与配筋原则》。

2) 结构电算优化:核对结构方案,尽量做大板,节省材料,施工也方便。保证荷载、结构设计参数的准确性及计算结果各项控制指标满足规范要求。

3) 总说明、梁、板、墙柱、楼梯、基础、桩基配筋施工图优化

4) 优化意见反复沟通,并多次进行落实检查工作

5) 出图前审查图纸是否符合任务书

6 结束语

建筑结构设计通过方案优化、精细化设计剔除无效成本,并不会导致结构的安全储备的降低,反而有可能提高,通过结构设计优化可以提高建筑结构设计产品的品质,达到安全耐久性和经济性的统一。经过事前控制、过程控制,实现结构设计优化,是控制成本的最佳方式。

参考文献

[1]徐传亮,光军.建筑结构设计优化及实例.中国建筑工业出版社,2012.1

[2]焦柯,吴文勇.高层建筑结构优化设计方法、案例及软件应用.中国城市出版社,2016.4

[3]李文平.建筑结构设计方法及案例分析.中国建筑工业出版社,2016.6