

# 高层建筑结构设计质量的探讨

何柳辰 石建光

(厦门大学建筑与土木工程学院 福建厦门 361000)

**摘要:** 建筑设计质量的优劣决定了建筑施工质量的优劣和建造成本的高低,对建筑工程起着决定性的作用。研究表明,相对于建筑产品的全生命周期,设计成本可以少到忽略不计,但对建造成本的影响却高达70%~80%。文章主要从结构设计的各个阶段出发,探究了影响结构设计质量的重要因素,并结合工程实例探讨了正确处理各关键因素的重要性。方案设计阶段涉及结构体系、结构布置、构件尺寸和特殊技术措施等因素,结构计算阶段涉及模型的选取和计算、参数设置和计算结果的合理性判断等因素,施工图设计阶段涉及结构计算书和施工图绘制等因素。

**关键词:** 设计质量;设计过程;影响因素;重要性

中图分类号: TU973

文献标识码: A

文章编号: 1004-6135(2017)08-0047-05

## Study on the quality of structure design of the high-rise building

HE Liuchen SHI Jianguang

(School of Architecture and Civil Engineering, Xiamen University, Xiamen 361000)

**Abstract:** The quality and cost of building construction have been decided by the quality of building design which plays a crucial role in construction engineering. The results show that the design cost could be ignored when it comes to the whole life cycle of a construction product. However, 70%~80% of the construction cost is determined by the quality of design. This paper mainly introduced the major factors of structure design quality and discussed the importance of correctly dealing with these key factors through an engineering project. The factors in scheme design phase include structure system, structure layout, the size of components and special technical measures. The factors in structure calculation phase involve the selection and calculation of structure model, the parameter setting and the judgment about the rationality of calculation results. The factors in construction drawing design phase refer to the calculation book and construction drawing plan.

**Keywords:** Quality of structure design; Process of design; Influencing factors; Importance

## 0 引言

由于计算机普及和计算性能的飞速发展,通过计算程序对高层结构,甚至超高层结构进行计算成为普遍现象。但是结构设计质量参差不齐的情况还未得到根本改善<sup>[1]</sup>。最主要的原因还是结构师业务水平的差异。结构师对相关规范规程、参数设置等的考虑不周和理解不全面,新技术掌握不够等原因,造成对结构设计中各技术环节中的关键因素的处理和选择会有所不同,并对最终的设计结果产生很大影响。例如计算参数的选择决定了最终的计算结果是否正确;结构选型的好坏直接关系建筑的安全、适用、经济、美观等重要指标;结构布置方式的不同决定了建筑是否能满足建筑功能、强度、刚度、稳定性等要求<sup>[2]</sup>;荷载计算及布置方式的准确很大程度影响着建筑的安全

适用、经济合理等性能要求<sup>[3]</sup>。从结构设计各阶段的关键因素出发评价结构设计质量要比从最终的设计结果评价设计质量更加直接和有利于设计质量的提高。

一个建筑工程项目的结构设计阶段依次可以划分为结构方案设计、结构计算和施工图设计3个阶段<sup>[4]</sup>。不同阶段工作内容和作用不同,其侧重点也会不同,但每个阶段都会直接影响到结构设计的质量。要想管理好结构设计质量,就必须重视每个工作环节的关键因素,从过程上保证结构设计的质量。

为此本文拟从影响结构设计质量的各技术环节的分析出发,找到提高设计质量的关键因素以及各环节的常见问题,避免结构设计人员在设计的过程中再次出现类似的问题,帮助明确优化结构设计的方向。

## 1 方案设计阶段中的问题

如图1所示,在建筑方案设计阶段,需根据抗震设计要求、建筑形式的需要、经济性要求等,从整体把握结构设计方案,依据不同的结构形式具有不同的特

作者简介:何柳辰(1992.5-),男。

E-mail: jgshi798@xmu.edu.cn

收稿日期:2017-03-16

点和适用范围,选择出最佳的结构形式。不仅要满足建筑方案的造型和使用功能的要求,更要考虑建筑的经济性、安全性、舒适性、耐久性和适用性。在此阶段,结构专业的主要工作内容:①结构体系;②结构分缝;③结构布置;④主要构件截面尺寸估算;⑤特殊技术措施。

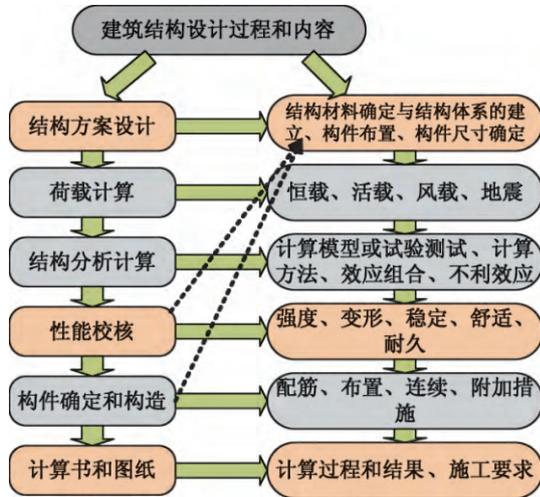


图1 建筑结构设计过程

### 1.1 结构体系

#### (1) 上部结构体系

不同的结构体系具有不同的适用范围,结构设计师在进行结构选型时通常根据建筑高度层数、抗震设防烈度等因素来确定一个与之匹配的经济的结构体系,使结构和建筑材料充分发挥作用。但由于设计师水平、经验和对结构认识的不同,针对同样的建筑造型,结构选型的结果也会有所不同<sup>[4]</sup>。结构选型是否合理很难用一个量化的指标去评价,但设计师可以通过不同结构方案的特点比较,以此来判断其是否科学合理。

#### (2) 基础体系

将上部结构的荷载和自重传到地基的作用,关系着整个建筑的安全。所以,首先要满足强度要求,在设计上部结构时应尽量使其传到基础上的荷载分布均匀。其次,支撑基础的地基应选择稳固或土质均匀的地基,同一建筑的基础不宜采用两种形式。再者,选用的基础要能满足建筑使用功能上的要求,例如人防功能、地下商场、地下停车场和储藏室。基础体系应满足构造上的要求,基础的埋深要满足承载力、变形和稳定性的要求,筏形基础在地基比较均匀的情况下,基底平面形心与结构竖向荷载中心重合,满足受冲切承载力要求等。最后,根据上部结构的体系,基

础应尽量选用与其相适应的结构形式<sup>[5]</sup>。只有综合考虑了基础选型的各方面因素,并进行多种基础方案的选型比较,才能使所选择的基础体系既经济合理又安全。

### 1.2 结构分缝

结构缝的作用是将一栋建筑划分为各个平立面规则、刚度均匀分布的独立单元,以减小地震作用对结构产生的扭转效应。但结构缝的设置不仅影响建筑立面的效果、增加施工难度、防水处理困难,而且造价昂贵,在强烈地震的作用下还会使得相邻结构发生碰撞而破坏。在结构设计中应尽可能地通过其他措施来避免结构缝的设置,例如平面布置、结构构造、采用后浇带、膨胀加强带、增加板厚和增加构造配筋等措施。

### 1.3 结构布置

合理科学的结构布置不仅能减轻后续计算调整的工作,还为结构设计好的成果奠定了基础。

(1) 结构布置力求受力明确、传力路径直接、布置简单规则减少扭转效应;

(2) 当结构布置难以避免平立面的不规则、刚度偏心时,应针对结构薄弱部位用较精确的分析方法分析其内力,并采取一定的加强措施;

(3) 抗震设计时,竖向抗侧力构件应上下连续,质量、刚度、承载力均匀分布,结构体型的悬挑或收进程度不应超过相应规范的限值。

### 1.4 主要构件截面尺寸估算

结构布置完成后需要对结构主要构件的截面尺寸进行估算。构件尺寸估算通常依据变形条件和稳定条件,利用经验公式估算得来,如果尺寸不满足要求,调整尺寸再估算,直到满足要求为止<sup>[6]</sup>。

### 1.5 特殊技术措施

随着建筑业的发展,为了满足越来越复杂建筑造型和使用功能,结构设计常常需要采用特殊技术措施来应对一些较为复杂的工程问题。如:顾长波列举了回填土对建筑安全稳定性影响、地梁计算、钢筋锚固和伸缩缝设置等问题的应对措施<sup>[7]</sup>;罗佳川归纳了目前隔震减震常用的技术措施<sup>[8]</sup>;李蕊以一个工程实例总结了错层结构在计算方面、构造方面的技术措施<sup>[9]</sup>;任旭就高层连体结构抗震不利的部位归纳了相应的处理措施<sup>[10]</sup>;张路分别总结了处理平立面不规则结构、超长结构的技术措施<sup>[11]</sup>;居炜通过计算分析探讨了如何经济地解决地下室抗浮的技术措施<sup>[12]</sup>。

## 2 结构计算阶段中的问题

在结构计算阶段,以方案设计阶段的设计成果为

基础进行调整细化,选择适当的计算软件,合理地选取计算参数,分析计算结果的合理性和可靠性。这一阶段是最容易受设计人员自身判断等因素影响的。选取错误的计算模型或错误的计算参数都会导致计算结果大大偏离实际情况,从而造成安全隐患。

### 2.1 计算参数的设置

计算参数的设置是否合适决定了结构计算的结果是否正确。通常选取的计算模型与实际结构是有一定差异的,而如何将这些差异缩小降低计算误差,这就要求结构设计人员熟悉每一个参数的含义,例如周期折减系数的设置是为了降低填充墙对地震作用计算的误差、中梁刚度增大系数考虑楼板对梁刚度的提高等。但由于设计人员对参数设置认识不足、取值不妥,最终造成计算结果偏差较大的事经常发生。所以设计人员在设置计算参数时应熟知并严格遵守《高层建筑混凝土结构技术规程》<sup>[13]</sup>(以下简称《高规》)、《建筑抗震设计规范》<sup>[14]</sup>(以下简称《抗规》)和《建筑结构荷载规范》<sup>[15]</sup>(以下简称《荷规》)等规范中的相关要求。

### 2.2 计算结果分析

对计算结果的分析是对前面结构设计工作的检验。如何分析各项计算结果的合理性来判断是结构设计的哪一环节出了问题,并作出相应的调整,是结构计算环节最重要的一项工作。例如,侧向刚度比、质量比等指标超出规范要求可以反映结构竖向体型的不规则,应调整结构竖向体型;结构扭转周期比可以反映结构平面布置是否规则;轴压比可以反映柱的延性是否满足抗震设计的原则,防止脆性破坏等。这一环节能有效保证建筑结构投入使用后的安全性和适用性。

## 3 施工图设计阶段中的问题

经过结构设计前两个阶段对结构的详细计算后,在施工图设计阶段,最重要的工作就是通过图纸把结构设计的最终结果清晰正确地表达出来。这一阶段的工作是把设计和施工联系在一起的桥梁。该阶段结构专业的主要内容划分为结构计算书和结构施工图绘制。对结构计算书和施工图质量的评价归纳内容如图2所示。

## 4 工程实例

某海景酒店的1#客房楼,位于福建福州,地下1层地上7层,采用框架结构,建筑高度为30m,上部结构长约116m,宽约21m,长度超《混凝土结构设计规范》<sup>[16]</sup>(以下简称《混规》)的有关规定,属于超长结

施工图设计	结构计算书	相关规范、规程	明确指出设计所采用的的适用于本工程规范、规程的现行有效版本。
		主要设计参数、依据	设计参数正确完整,引用数据可靠。
		相关依据	明确指出采用计算软件名称、代号、版本号及编制单位,采用岩土工程地质勘察报告的名称、编号、编制单位以及其他需要说明的事项。
		荷载	提供荷载的手工计算书,且内容完整清楚,计算步骤条理清晰。
		计算书完整	结构计算书应包括的内容具体参照《民用建筑工程设计常见问题分析及图示》06SG109-11.1.7。
		计算过程及结果	结构设计计算书内容应完整清楚,计算步骤要条理分明;引用的计算图表及计算公式应注明其来源出处,构件编号、计算结果应与施工图纸一致。
施工图绘制	施工图绘制	审图重点	严格遵守各项强制性条文;符合《建筑制图标准》相关制图规定;制图和设计均能达到标准和深度,图纸表达正确,图面清晰无差错。
		总封面标识	内容应完整。1.项目名称;2.设计单位名称;3.项目设计编号;4.设计阶段;5.编制单位法定代表人、技术总负责人和项目总负责人的姓名及其签字或授权盖章;6.设计文件交付日期
		构件配筋及分析	1.配筋规律是否符合构件受力特性;2.超筋判断处理;3.特殊构件(如转换梁柱等)配筋是否正常,必要时应手算分析或采用其他软件计算进行对比;4.核对构件配筋是否大于计算配筋面积过多,必要时优化构件配筋。

图2 施工图设计阶段影响因素

构。占地面积0.2269hm<sup>2</sup>,计容面积13398.93m<sup>2</sup>,不计容面积6603.12m<sup>2</sup>。建筑造型特点为竖向体型逐层收进,结构设计使用年限为50年,建筑结构安全等级为二级,场地类别为III类,建筑设防烈度为7度,场地特征周期0.65s,修正后基本风压取0.8kN/m<sup>2</sup>。结构整体效果如图3所示,剖面图和平面图如图4~图5所示。



图3 客房楼结构整体效果图



图4 客房楼剖面图

根据前文的总结,从方案设计、结构计算和施工图设计3个阶段对该工程的结构设计进行分析与优化。

(1) 该工程桩基需要穿越4层中砂层,施工有可能有难度,现场应根据试桩可采用“水冲法”,优质泥浆护壁等附加措施穿越土层。使用水冲法时应注意带来的水是否会破坏原有基础产生不良影响,并引发环境问题。

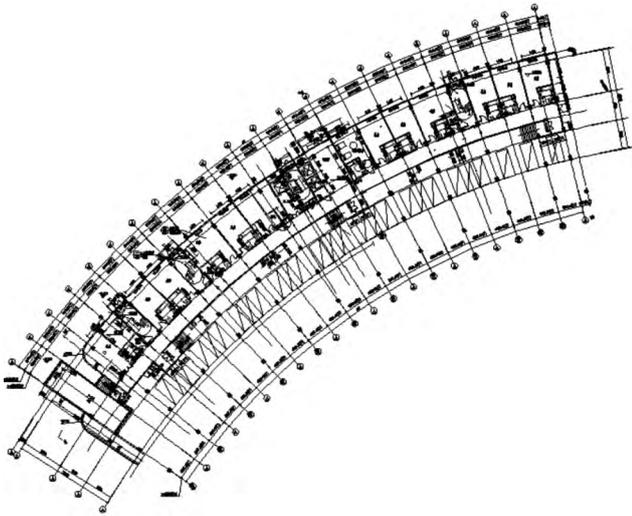


图5 客房楼一层平面图

(2) 该工程结构长度超过了《混规》中的相关规定,属于超长结构,需要设置结构缝,但因为建筑立面和使用功能的要求无法设置伸缩缝。为了尽可能避免裂缝的产生,应在施工过程中做好超长结构的施工方案。该工程设计从设置温度后浇带和温度引导缝,混凝土的配合比方案、混凝土浇筑温控方案、养护方案等方面出发避免设置伸缩缝。

(3) 该工程标准层普通楼板厚设置过大,应根据楼板的跨度、实际所受荷载、配筋值合理等采用楼板跨度。同时也能相应减小结构自重,对应的地震作用效应亦相应减少,使得整个结构受力减轻,带来含钢量的相应降低。

(4) 模型中部分梁间荷载的布置方式与实际情况梁间荷载的分布不符,且模型中计算取值偏大。例如1#客房楼的边梁上荷载取10kN/m,而根据07G120《工程做法(自重计算)》和外墙饰面的做法,计算得梁间线荷载为7.38kN/m。

(5) 该工程中部分板的最小配筋率设置为2%,偏大。根据《混规》8.5.1,楼板采用三级钢筋,最小配筋为0.15%和 $0.45 \times f_t / f_y$ 中的较大值,混凝土等级为C30的楼板最小配筋率可设为0.179%,混凝土等级为C25的最小配筋率可设为0.159%。

(6) 板上砌墙时(100mm墙厚)板底加强筋建议由2d14@50改为2d12@50,或者取消。只要楼板计算时满足要求,板上隔墙荷载应考虑如下处理办法:①计算楼板配筋时时,按《荷规》附录C处理;②总体计算时,按砖墙实际荷载输入即可,不必按折算荷载输入,可有效降低结构自重,进而降低地震力,连锁减少梁、柱、墙等计算内力和配筋。

(7) 对梁进行配筋分析,梁纵筋应尽量减少钢筋排数,从而增大截面有效高度,受力更合理,同时可以优化纵筋配筋量。钢筋配置应根据模型的计算结果来配置(在荷载输入准确的前提下)不应放大配筋值。

(8) 根据《混规》9.2.13,梁的构造腰筋按三级钢设置即可,无需按四级钢设置。该工程大部分梁截面有效高度大于450mm,按规范要求均应设置构造钢筋,从目前钢筋市场来看,三级钢的价格和四级钢价格相差约10%,故建议构造钢筋均按三级钢设置即可满足要求。

(9) 当梁支座两侧配筋计算结果相差较大时,应分开配筋。例如三层梁KL14与1-17轴相交支座处左边计算面积为 $25m^2$ ,右边计算面积为 $21m^2$ ,实配4d25/2d20( $2592mm^2$ ),超配23%,建议支座左边不变,右边配3d25/2d20( $2101mm^2$ )。

(10) 地下室顶板梁跨中计算配筋面积远大于梁支座处面积,参考11G101-1第33页和第87页。建议框架梁和次梁仅第一排底筋锚入支座,其余排在梁边截断,使得结构在节点区受力更加合理,有效保证强节点,也便于节点核心区的施工。

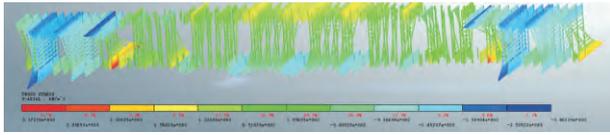
(11) 柱箍筋的肢距满足《抗规》和《高规》的要求即可,详见《高规》第6.4.4条,箍筋类型号可采用 $5 \times 4$ 或者 $6 \times 4$ 等。不应大部分采用 $5 \times 5$ ,如800mm $\times$ 600mm时,按照规范要求600mm一侧可采用4肢箍即可,不必全部采用 $5 \times 5$ 。此可有效降低柱子含钢量,且便于施工。

根据对该工程结构设计质量评价的意见,对结构设计的各项指标进行优化,重新计算结构,将优化后的设计结果与之前的设计结果进行对比。借助Excel工具,采用抽筋算量的方法,估算出板、梁、柱的钢筋优化量,共节省钢筋139.6t。同时对于施工工期的缩短,劳动力使用的减少以及使用功能的改善等也为建筑产品带来了一定的经济性和投资效益。

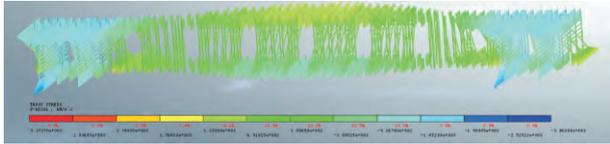
### 5 结语

结构设计的质量可以分为3个主要环节和多个关键要素。3个主要环节有方案设计、结构计算分析 (下转第80页)

渐增加 约在跨中处达到最大值。而中穿 H 型钢混凝土冠梁由于 H 型钢削弱截面的存在,使得箍筋应力分布规律变得极其复杂。



(a) 中穿 H 型钢冠梁



(b) 实体混凝土冠梁

图 11 箍筋应力

### 3 结论

中穿 H 型钢混凝土冠梁不能简单地参照实体混凝土冠梁,采用理正工具箱等软件进行设计计算。通过迈达斯软件建立的模型对比分析可知:

(1) 中穿 H 型钢混凝土冠梁的变形比实体混凝土冠梁大,且内部存在相对位移。

(2) 中穿 H 型钢混凝土冠梁钢筋及混凝土的应力总体上均大于实体混凝土冠梁,且其分布形式比实体混凝土更为复杂。

#### 参考文献

[1] 陈茂德,李铁军. SMW 工法及 H 型钢内支撑在武汉某深基坑支护工程中的应用[J]. 土工基础, 2001, 15(1): 28-32.

[2] 胡强,顾建华,朱大宇,等. SMW 工法围护结构+斜撑体系在基坑工程中的应用[J]. 建筑施工, 2005(9): 15-17.

[3] 周乐敏. SMW 工法围护与钢、混凝土混合支撑体系在大型深基坑施工中的应用[J]. 建筑施工, 2008(2): 91-94.

[4] 张忠苗,赵玉勃,吴世明,等. 过江隧道深基坑中 SMW 工法加钢支撑围护结构现场监测分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2010(6): 1270-1278.

[5] 李灿峰,李鹏. 复杂环境下圆环内支撑结合 SMW 工法应用技术[J]. 施工技术, 2012(7): 41-43.

[6] 林希鹤. SMW 工法桩与内支撑支护在复杂环境深基坑工程中的应用[J]. 福建建筑, 2013, 182(8): 75-78.

[7] 周盛哲. 内撑式支护结构中腰梁的受力分析与优化设计[D]. 广州: 广州大学, 2016.

[8] 朱小青,陈代海,陈淮. 先简支后连续 T 梁桥全过程力学行为及极限承载力分析[J]. 铁道科学与工程学报, 2016(1): 89-95.

(上接第 50 页)

和施工图设计,各环节解决的设计问题不同,所以涉及的关键要素也不同。方案设计主要解决上部和下部结构体系、结构布置、构件形式和尺寸等整体骨架的构成和结构需要采取的特殊技术措施。如减震隔震、基础抗拔、塔楼与裙房的连接等,涉及的关键要素为结构体系和结构布置是否合理、构件形式和尺寸是否恰当、特殊技术措施是否有效合理。结构计算阶段主要解决计算参数设置和分析计算结果,涉及的关键要素为计算参数合理的设置和对计算结果的分析来判断所设计的结构是否安全适用等。施工图设计主要解决结构计算书和结构施工图绘制等直接关系工程实施的环节,涉及的关键要素结构计算书内容是否完整以及施工图绘制是否表达清晰、符合深度要求。在满足规范安全性、适用性、耐久性、经济性等基本要求的下,对这些关键要素的不同处理就构成了结构设计质量的内涵。因此,要提高结构设计的质量应主要考虑如何科学、合理、先进地对结构设计各环节的关键要素进行处理或选择。

#### 参考文献

[1] 周献祥. 结构设计笔记[M]. 北京: 知识产权出版社, 2013.

[2] 石建光. 大型高层建筑设计第三方审核和优化中的几个问题[J]. 建筑设计管理, 2016(8): 62-67.

[3] 渡边邦夫. 结构设计的新理念·新方法[J]. 岩土力学, 2008(5): 1319-1319.

[4] 朱海涛. 建筑结构设计常见问题分析[J]. 中华民居旬刊, 2012(7).

[5] 赵英波. 高层建筑基础的合理选型等问题的探讨[J]. 工程技术(全文版), 46-47.

[6] 邱洪兴. 建筑结构设计(第 1 册)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2013.

[7] 顾长波. 浅谈在建筑结构设计常见问题分析[J]. 城市建筑, 2013(4): 59-59.

[8] 罗佳川. 浅谈房屋隔震和消能结构减震技术措施[J]. 农村实用科技信息, 2012(2): 89-90.

[9] 李蕊. 高层错层结构的抗震设计与措施[J]. 工业建筑, 2011(S1): 173-175.

[10] 任旭. 高层连体结构弹塑性分析及处理措施[J]. 工程抗震与加固改造, 2006, 28(3): 56-60.

[11] 张路,芮建辉,侯鹏程. 恒大国际中心 D 区商业结构设计与分析[J]. 建筑结构, 2016(S1): 48-53.

[12] 居炜. 抗浮措施在某大型地下工程中的选择与应用[J]. 建筑结构, 2013(S2): 104-108.

[13] JGJ3-2010 高层建筑混凝土结构技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.

[14] GB50011-2010 建筑抗震设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.

[15] GB50009-2012 建筑结构荷载规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.

[16] GB50010-2010 混凝土结构设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.