

注册建筑师继续教育必修课系列教材(建筑)

高立人 方鄂华 钱稼茹 编著

高层 建筑 结构 概念 设计

CONCEPT
DESIGN OF
HIGH-RISE
BUILDING
STRUCTURES



中国计划出版社



CONCEPT
DESIGN OF
HIGH-RISE
BUILDING
STRUCTURES

责任编辑：李颖
封面设计：樊嵘

ISBN 7-80177-501-5



9 787801 775016 >

ISBN 7-80177-501-5 / TU · 277 定价：36.00元

全国注册结构工程师继续教育必读系列教材（之四）

高层建筑结构概念设计

高立人 方鄂华 钱稼茹 编著

中国计划出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

高层建筑结构概念设计/高立人, 方鄂华, 钱稼茹编
著. —北京: 中国计划出版社, 2005. 11

(全国注册结构工程师继续教育必读系列教材)

ISBN 7-80177-501-5

I. 高... II. ①高... ②方... ③钱... III. 高层建
筑—结构设计—工程师—终生教育—教材 IV. TU973

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 103049 号

高层建筑结构概念设计

高立人 方鄂华 钱稼茹 编著

☆

中国计划出版社出版

(地址: 北京市西城区木樨地北里甲 11 号国宏大厦 C 座 4 层)

(邮政编码: 100038 电话: 63906433 63906381)

新华书店北京发行所发行

三河富华印刷包装有限公司印刷

787×1092 毫米 1/16 17 印张 432 千字
2005 年 11 月第一版 2005 年 11 月第一次印刷
印数 1—12055 册

☆

ISBN 7-80177-501-5/TU·277

定价: 36.00 元

序 言

习惯性的传统设计往往会给结构工程师造成一种错觉,以为结构设计就是“规范+计算”。等待建筑师给出一个空间形成方案(非结构的),然后再去拼凑、组合,看到需要什么就往上加什么。只要计算机算出来能满足规范限值的要求,就算设计成功。其实不然。

真正的结构设计不仅是一门技术,更是一门艺术。尤其是在结构总体方案的构思阶段是根本无法用计算机程序来替代的。而且结构设计没有惟一解,只有通过不断地探索、比较,去寻求相对的最优,而没有所谓绝对最佳的“标准模式”。创造力和创新是结构工程师对设计与社会的贡献。

所以,本书强调结构工程师应在每一项工程的开始,即建筑方案设计阶段,就能以自身拥有的高层建筑结构体系功能及其受力、变形特征的整体设计概念与判断力去帮助建筑师开拓和实现业主梦寐以求的空间形式与功能;并在与建筑师创造性的合作中,用以承载力、刚度、延性为主导的概念设计来整体构思结构总体方案,并明确结构总体体系与分体系之间的最佳受力关系的要求;在方案与初步设计阶段,能通过概念性近似计算进行探索、优化,乃至最后确定分体系及其构件的基本尺寸,并确认设计方案的可行性。只有这样才能确保和协调建筑空间形式和结构功能及其受力特征的一致性;同时也为后期的计算机分析提供了确切的数学模型与所需输入的原始数据,从而也可避免给施工图设计留下种种障碍与矛盾。

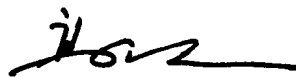
同时,书中还着重强调,在整个设计过程中,应以正确的判断力来把握设计。规范是要遵守,但首先必须吃透规范条文的真实含义,而不是盲目照搬;更不能盲从一体化计算机结构设计程序,任其随意摆布。

这一方面要求结构工程师具有不懈地追求尽善尽美的设计思想,同时也要求具备丰富踏实的整体结构概念和基本分体系的相对比较概念。客观现实是,凡是概念设计做得好的结构工程师,其结构概念、经验、判断力和创造力是随年龄与实践的增长而越来越充实,设计成果不断创新;反之,只会盲目照搬规范和依赖计算机程序做设计的工程师,特别是在一体化计算机结构设计程序全面应用的今天,不但设计误区多发,而且随着岁月的流逝,甚至连在大学学过的那些孤立的基本概念都被忘却,更谈不上设计成果的创新。

因此,本书重点介绍高层建筑结构设计的概念和理念;结构体系的功能及其受力、变形特性;楼盖体系的方案选择与整体初步设计的近似计算方法;竖向分体系的初步设计近似计算方法;延性结构与构件的抗震设计概念与方法;高层建筑基础设计的内在潜力与新观念等。其中均列举了诸多国内外工程实例以供参考。

受全国注册工程师管理委员会的委托,本书由高立人主持;其中第1、4、5、7章由高立人编著,第2、3章由方鄂华编著,第6章由钱稼茹编著,并共同互校。

对书中所引用资料的原作者及相关的结构同仁,在此表示深切的敬意!



2005年5月

目 录

第 1 章 概述——高层建筑中的结构设计	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 帮助建筑师开拓空间形式与功能	(2)
• 例 1-1: 芝加哥第一国家银行大楼	(2)
• 例 1-2: 美国西尔斯 (Sears) 大厦	(3)
• 例 1-3: 法兰克福商业银行总部大楼	(5)
1.3 承载力、刚度、延性为主导的结构概念设计	(8)
• 例 1-4: 马那瓜美洲银行	(9)
1.4 结构设计没有惟一解	(14)
• 例 1-5: 钢筋混凝土框架柱轴压比限值与截面延性的思考	(15)
• 例 1-6: 底层大空间剪力墙结构规定条文的思考	(19)
1.5 运用正确的判断力把握设计	(20)
• 例 1-7	(22)
• 例 1-8	(23)
1.6 结语	(24)
• 国际结构设计知名人士的忠告	(25)
参考文献.....	(26)
第 2 章 高层建筑结构体系及工程实例	(27)
2.1 框架结构	(27)
2.2 剪力墙结构	(29)
2.3 框架-剪力墙 (筒体) 和框架-支撑结构	(31)
2.4 框架-核心筒结构、框架-核心筒-伸臂结构	(35)
2.5 筒中筒结构	(44)
2.6 束筒结构	(47)
2.7 巨型框架结构	(48)
2.8 结构体系的适用范围	(55)
2.9 高层建筑抗侧力结构体系的发展和应用	(57)
参考文献.....	(62)
第 3 章 抗侧力结构受力、变形特性概念	(63)
3.1 双重抗侧力体系的受力和变形性能	(63)
3.1.1 框架-剪力墙 (筒体) 结构	(63)
3.1.2 筒中筒与框架-核心筒结构	(66)
3.1.3 混合的框架-核心筒结构	(70)

3.2	框架-核心筒结构与板柱-筒体结构	(72)
3.3	框架-核心筒-伸臂结构的受力和变形性能	(73)
3.4	加强层的设计概念	(77)
3.4.1	伸臂设置的位置和数量	(77)
3.4.2	设置伸臂的效果和概念	(77)
3.4.3	伸臂结构形式和连接	(80)
3.4.4	环向构件	(80)
3.4.5	腰桁架和帽桁架	(81)
3.5	筒中筒与框架-核心筒、框架-核心筒-伸臂结构设计概念的比较	(82)
3.6	框架和框筒结构的转换层	(85)
3.6.1	上、下柱在同一平面内的转换	(85)
3.6.2	上、下柱不在同一平面内的转换	(86)
3.7	底部大空间剪力墙结构的设计概念和转换层	(89)
3.7.1	框支剪力墙	(89)
3.7.2	底部大空间剪力墙结构的设计概念	(91)
3.7.3	转换构件	(93)
3.7.4	关于剪力墙结构的高位转换	(96)
3.8	短肢剪力墙较多的剪力墙结构的设计概念	(98)
	参考文献	(100)
第4章	楼盖体系的方案选择与整体初步设计	(102)
4.1	概述	(102)
4.2	平板体系	(103)
	• 例 4-1: 预应力混凝土平板初步设计	(107)
4.3	梁-板体系	(109)
4.3.1	单向板-梁楼盖	(109)
4.3.2	双向板-梁楼盖	(111)
	• 例 4-2: 某机场候机楼楼盖的内力分析	(112)
4.3.3	现浇梁板共同作用的设计概念	(114)
4.4	主-次梁体系	(115)
4.4.1	柱网与主、次梁的合理布局	(117)
	• 例 4-3: 坦帕国际机场南停车楼	(117)
4.4.2	边跨的合理设计	(119)
4.4.3	单向密肋——主-次梁体系的一种特殊结构型式	(120)
4.5	双向密肋体系	(122)
	• 例 4-4: 双向密肋楼盖初步设计	(124)
4.6	平面或空间桁架组合楼盖	(126)
4.7	预应力混凝土设计的基本概念和方法	(130)
4.7.1	预应力混凝土特性的三个不同概念	(131)
	• 例 4-5	(131)
	• 例 4-6	(134)

• 例 4-7	(134)
• 例 4-8	(135)
• 例 4-9	(135)
4.7.2 无粘结预应力混凝土框架梁设计需注意的若干问题	(136)
4.8 设计优化实例剖析	(138)
• 例 4-10	(138)
• 例 4-11	(141)
参考文献	(145)
第 5 章 竖向分体系的初步设计	(147)
5.1 引言	(147)
5.2 剪力墙结构	(147)
• 例 5-1: 钢筋混凝土剪力墙的初步设计	(148)
• 例 5-2: 支撑框架的内力估算	(149)
• 例 5-3: 高层剪力墙连梁的初步设计	(150)
5.3 筒体结构	(151)
• 例 5-4: 单筒的初步设计	(151)
• 例 5-5: 圆筒中筒高层建筑的初步设计	(153)
• 例 5-6: 芝加哥西尔斯大厦	(154)
5.4 框架结构	(155)
5.4.1 钢梁-混凝土柱组合框架结构	(156)
• 例 5-7: 我国首例 RCS 组合框架结构工程	(163)
5.4.2 竖向荷载作用下的直接弯矩分配法	(167)
5.4.3 水平荷载作用下的近似计算方法	(169)
• 例 5-8: 高层框架近似分析	(172)
5.5 抗侧力构件的变形近似计算	(173)
参考文献	(177)
第 6 章 延性结构与延性构件的设计概念	(179)
6.1 地震作用	(179)
6.1.1 地震和地震作用基础知识	(179)
6.1.2 地震作用的特点	(182)
6.1.3 建筑结构的震害	(183)
6.1.4 抗震设计理论和方法的发展	(184)
6.2 抗震结构的基本要求	(188)
6.2.1 抗震设防目标	(189)
6.2.2 构件应具备足够大的承载能力	(190)
6.2.3 结构应具有足够大的刚度	(191)
6.2.4 应具有足够大的延性和耗能能力	(192)
6.3 建筑体形和结构总体布置	(197)
6.3.1 结构总体布置原则	(197)
6.3.2 对抗震不利和有利的建筑平面和结构布置	(198)

6.3.3	对抗震不利和有利的建筑立面和结构布置	(199)
6.3.4	不规则结构的地震反应	(201)
6.3.5	不规则结构的抗震概念设计和工程应用	(204)
6.4	延性钢筋混凝土框架的设计概念	(209)
6.4.1	实现梁铰机制,避免柱铰机制	(209)
6.4.2	延性框架梁抗震设计	(210)
6.4.3	延性框架柱抗震设计	(213)
6.4.4	梁柱节点核芯区抗震设计	(216)
6.5	延性组合柱	(217)
6.5.1	钢管混凝土柱	(217)
6.5.2	钢管混凝土组合柱和叠合柱	(223)
6.5.3	钢管混凝土柱	(225)
6.6	延性剪力墙的设计概念	(228)
6.6.1	联肢墙设计	(228)
6.6.2	延性墙肢设计	(231)
6.6.3	延性连梁设计	(236)
6.7	延性钢结构的设计概念	(238)
6.7.1	钢结构的地震震害	(238)
6.7.2	延性钢框架设计	(239)
6.7.3	延性钢支撑框架设计	(240)
6.7.4	梁柱连接设计	(241)
6.7.5	消能减震	(242)
	参考文献	(245)
第7章	高层建筑基础设计的内在潜力	(247)
7.1	概述——高层建筑基础的合理选型	(247)
	• 例 7-1: 法兰克福商业银行总部大楼	(247)
7.2	桩筏(箱)基础设计中的桩-土共同作用	(250)
7.2.1	摩擦型桩筏基础	(250)
	• 例 7-2: 陕西省邮政电信网管中心大楼	(250)
	• 例 7-3: 法兰克福展览会大楼	(252)
7.2.2	嵌岩型桩筏基础	(254)
	• 例 7-4: 南京某大厦	(254)
7.2.3	根据桩-土受力特征调整桩距与合理布桩	(256)
	• 例 7-5: 上海某 24 层住宅楼	(257)
7.3	上部结构-地下室-地基基础的相互作用	(259)
7.3.1	基础底板的内在潜力	(259)
7.3.2	地下室的潜在功能与作用	(260)
	参考文献	(263)

第1章 概述——高层建筑中的结构设计

1.1 引言

我国现行的传统设计体制造成结构工程与建筑专业之间一直存在着技术共识上的制约，特别是在建筑设计的方案阶段，往往都毋需结构工程师的参与（或结构工程师就根本不参加）。再加上相应的教学和现代信息的分离——传统的专业教育致使结构工程师首先从细节去考虑问题，而对总体方案缺乏关心，甚至根本不感兴趣。这就又进一步限制了结构工程师和建筑师之间创造性合作的可能性。这种制约在设计项目的方案阶段尤为可悲，结果会导致建筑空间形式和结构设计理念之间的整个关系不协调，并给后续的设计阶段埋下了种种障碍和矛盾，来回返工，以致最后反过头来限制和约束了业主最想要的空间形式及其功能。

因此，习惯性的传统设计往往会给结构工程师造成一种错觉，以为结构设计就是“规范+计算”。即将原本通过努力可以创新和做得很好的结构设计简单地误认为：不就是将建筑师所设计的房子矗立起来，并保证其安全即可，其中包括强度与变形的计算。另外一种更为错误的观点就是认为结构设计有它一定的老套路，既然是必须按照技术规范 and 规程来做设计与审图，那怎么还能有我们结构设计人员自己主观选择的余地呢？特别是在一体化计算机结构设计程序全面使用的情况下，甚至将原本已错误理解为“规范+计算”的结构设计更简化成了“规范+一体化计算机结构设计程序”。只要在设计规范、手册、计算机及其相应的一体化设计程序都具备的情况下，等待建筑师给出一个空间形成方案（非结构的），然后设法去搭积木完成它就就行了，自己充当的是一个东拼西凑的计算机程序的操作者和规范条文限值的查对人。而同时也会在年轻的结构工程师中导致形成两种截然不同的心态：一种是自我满足——结构设计没什么难的，只要有一体化计算机结构设计程序，再加上规范，就是给我100层的高楼，我都敢设计，对结构概念和体系的知识不感兴趣，只会盲目照搬规范和规程的条文限值，并有一句自以为很有理的，常拿来对付建筑师与业主要求的话：“这程序算不下来”；另外一种心态是迷茫——难道结构设计就这么简单吗？如果真是这样，那还用得着父母花这么多心血，含辛茹苦地培养我去上大学本科吗？难道我就真的这样一辈子去做规范和一体化计算机结构设计程序的操作工具吗？而且，每一个设计项目从施工开始就担心不知会在什么地方出问题。

上述两种心态的结构工程师却都有一个共同点，即在每一个项目设计到一定程度时，都会感到一种莫名其妙的劳累、烦恼，甚至反感。这与习惯做概念设计的结构工程师那种老是兴致勃勃地在不断比较、反馈和优化自己的设计，且每当谈起自己所设计的、并已竖立在大地上的建筑物和构筑物时都有一种乐趣的感觉恰恰相反，回忆起来总有一种麻木、甚至痛苦的感觉。

另一方面，客观现实业已充分证明，凡是概念设计做得好的结构工程师，其自身所拥有的结构设计概念、经验、判断力和创造力是随年龄与工程实践的增长而越来越丰富，设计成果也越来越创新、完美。反之，只会盲目照搬规范和依赖计算机程序做习惯性传统设计的结

构工程师，特别是在一体化计算机结构设计程序全面应用的今天，不但设计误区多发，而且随着年龄的增长会导致连在大学学过的那些孤立的观念都被忘却，更谈不上结构设计成果的不断革新。

实际上，要创造一个令业主满意、有效的建筑物，建筑设计人员和结构设计人员的能力发挥是相互关联的，而且应该是建筑师和结构工程师创造性合作的共同成果。因为设计人员只有通过整体构思结构总体方案才能去创造性地满足该建筑物的空间形式及其三个相互关联的功能要求：使用功能、构造功能和所能感受到的形象功能。事实上，对所有建筑物的最基本要求就是给业主提供一个有一定追求的理想活动场所。它应该是令人向往、鼓舞人心的，而不是令人烦恼、埋怨，甚至会产生消极抵触情绪的。

因此，对一个结构工程师来讲，在设计一个业主所梦寐以求的建筑物时，结构设计人员到底应该做些什么？而且怎样去做才能做得更好？也就是说，业主花钱请结构工程师帮助设计他想要的房屋，他要的绝不仅仅是你的“规范+计算”，更不是“规范+一体化计算机结构设计程序”，而是想借用你作为一个结构工程师本应具有的结构设计概念、经验、悟性、判断力和创造力。创新才是结构工程师对设计、业主和社会的最大贡献。

1.2 帮助建筑师开拓空间形式与功能

创造力和创新是结构工程师对设计的贡献。

—— [英国] Bill Addis

真正的结构设计不仅是一门专业技术，更是一门艺术。而且，结构设计没有惟一解，只有通过不断地探索去寻求相对的最优，而根本没有什么所谓绝对最佳的“专家标准模式”。

一个结构项目工程师的首要任务就是在每一项工程设计的开始，即建筑方案设计阶段，就能凭借自身拥有的结构体系功能及其受力、变形特性的整体概念和判断力，用概念设计去帮助建筑师开拓或实现该建筑物业主所想要的，或已初步构思的空间形式及其使用、构造与形象功能。并以此为统一目标，与建筑师一起构思总结构体系，并能明确结构总体系和主要分体系之间的最佳受力特征要求。由于我国建筑师在大学中所受的结构专业方面的教育往往都是被浓缩后的概要课程，因此在具体的工程设计中，很难或根本不会对各种结构体系的功能和受力特征去进行分析、归类、总结与反思。所以建筑师的结构设计思想是无法替代一个结构项目工程师的工程设计理念、经验和判断力的，同时也根本无法弥补结构工程和建筑专业之间技术共识的空白与隔阂。而只有富于创新并兼有丰富实践经验的结构项目工程师才能帮助建筑师去实现理想的构思、甚至还能帮助他们进一步开拓，尤其是在方案设计阶段，结构工程师的参与也就是一种项目设计所必需的知识投入。实践证明，世界上那些著名的工程实例若在建筑方案设计阶段没有结构工程师凭借自身拥有的结构设计概念、悟性、判断力和创造力去参与构思、开拓，是根本无法充分地去实现业主的理想。

【例 1-1】芝加哥第一国家银行大楼

芝加哥第一国家银行大楼（见图 1-1），244m 高，其横剖面为下大上小，底部为 5110m²，

顶层 2694m²，共 60 层，银行业主一直在追求和向往能在他们银行大楼的整个底部有一个 4~5 层楼高的无柱大空间，以充分满足他们银行业务在使用功能和形象功能上的需求。在芝加哥第一国家银行大楼的方案设计中，结构设计人员和建筑师合作开拓了一种结构形式，即将电梯井筒与设备井筒分别设置在建筑物的纵向两侧，作为巨型柱，并将第一道设备层设置在第六层，往上每隔 18 层再各自设置一道（见图 1-2，剖面图），作为承载力和刚度很大的巨型水平构件，并与周边的巨型柱有机地刚性连接在一起，从而构成了一种巨型框架体系的结构功能与受力特征，不但能有效地抵抗重力荷载和水平荷载，还满足了业主的理想要求。该设计深得美国银行家们的赞许，称得上是结构工程师和建筑师首次慷慨地和充分地满足了银行家梦寐以求的底部大空间——在整个大楼底部 5110m² 的面积内无一根柱子。



图 1-1 芝加哥第一国家银行大楼

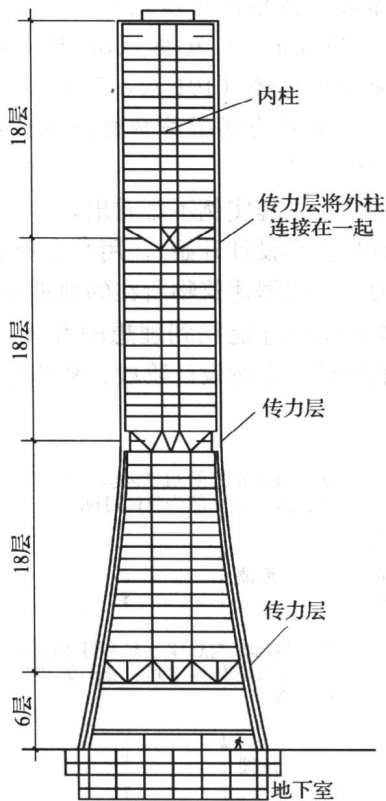


图 1-2 芝加哥第一国家银行大楼结构示意图

【例 1-2】美国西尔斯 (Sears) 大厦

另一个世界最著名的工程实例就是建于 1974 年，在 1998 年以前一直排名第一的世界最高建筑，110 层、442m 高的芝加哥西尔斯 (Sears) 大厦 (见图 1-3)，它更是一个创新的概念设计成果。这是美国旧金山 S. O. M 公司的结构项目工程师法兹勒·R·坎恩 (Fazlur Rahman Khan，美籍巴基斯坦人，1982 年去逝) 创造的世界第一座束筒结构，帮助建筑师和业主开拓了当时世界最高写字楼的空间形式与使用功能。他设计了一个由 9 个 22.86m × 22.86m 的钢框筒组成的 68.58m × 68.58m 的束筒结构。在第 50 层截去了东南—西北对角线上的两个角筒，在第 66 层又截去另一对角线上的两个角筒，到第 90 层又将三个框筒封

顶，最后只剩下两个筒一直升到 442m 高度。由于将上部的 7 个筒依次截去，不但减少了承受风荷载的表面积，分散了气流，其所造成的湍流也减少了建筑物的摆动。同时也满足了一些想租用整层楼房，而面积又不要太大的客户的要求。更难能可贵的是，西尔斯大厦不但给业主提供了 523m² 的无柱单元大开间，而且整幢大楼的平均用钢量只有 159.5kg/m²，又创造了一个结构设计的新纪录，比当时传统的钢框架结构的用钢量 290~340kg/m² 整整节省了一半。尽管这世界第一高楼的宝座已相继被马来西亚吉隆坡的石油 (Petronas) 双塔 (88 层，452m，1998 年) 和台北 101 大楼 (101 层，508m，2004 年) 取代，但西尔斯大厦的创新结构概念设计给世人留下了永不磨灭的示范。

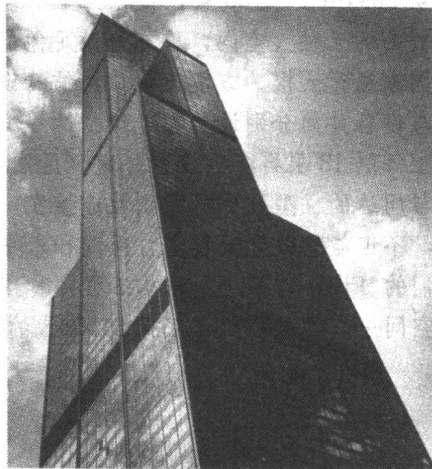


图 1-3 西尔斯大厦

从上述两个工程实例不难看出，一个结构项目工程师只有在和建筑师合作的整个设计过程中 (强调从方案设计开始)，用其自身拥有的结构体系功能及其受力、变形特性的整体概念和判断力，并根据建筑物所在的地理环境条件、材料、施工条件与造价等去不断地探索、比较、反馈和优化才能找到理想的答案。要实现一个建筑物的全面设计，至少应有三个反馈、优化的阶段：方案设计阶段、初步设计阶段和施工图设计阶段，见图 1-4。

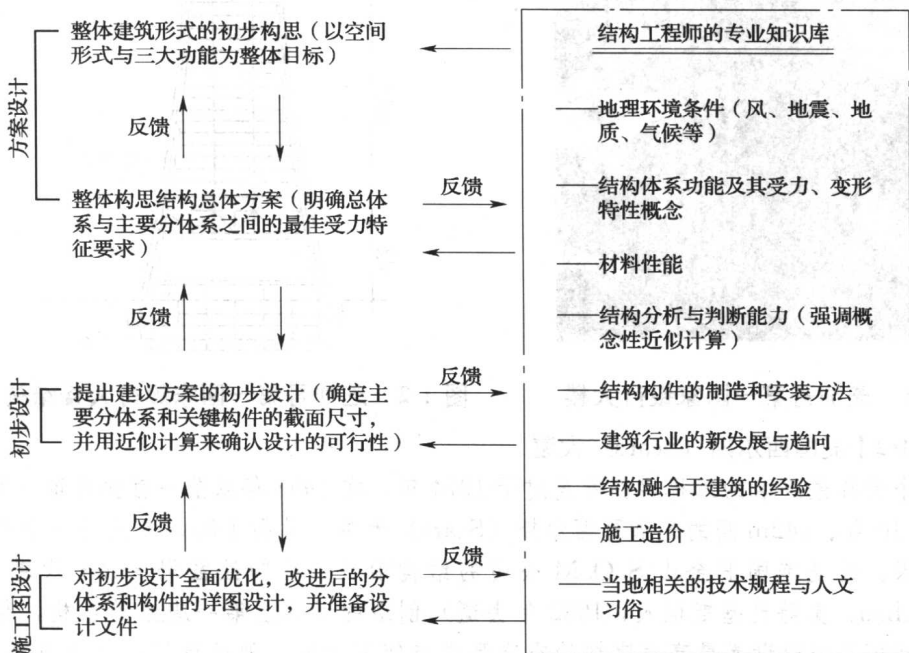


图 1-4 建筑结构的设计阶段与反馈

这种分阶段的设计方法可以重点突出整体方案构思阶段的概念设计，以避免基本思路受到无数具体细节问题的干扰。而且在构思结构总体系时就能考虑到材料、施工的可行性与经济性，那是最有利和明智的。这样还可以避免以后产生较大的反复。但这就要求结构工程师（包括建筑师在内）应该从主要分体系之间的力学关系，而不仅仅是从构件的详图上去构思总体结构方案。因为这样的构思易于反馈和优化，以改进或开拓空间形式的设计方案。

在初步设计阶段，设计的重点已转移到如何精心去改善已构思拟定的设计方案上，也即已转移到分体系具体方案的设计上，确定分体系及其相关构件的几何尺寸与截面特征和相互之间的关系，并通过概念性近似计算来确认该设计方案的可行性。应该强调指出的是，在总体体系这个目标下，要弄清并处理分体系之间的力学关系及其在设计中存在着的问题，也只有结构工程师才能去面对解决。这时，初步设计阶段所做的改进决策必须反馈回去，使总体方案的概念进一步完善。

在施工图设计阶段，如果不同专业的设计人员和业主都对初步设计优化方案的可行性表示认可，则全部设计的基本问题也就业已解决，下一步的施工详图设计也就不会再引起较大的反复，这样即可转移进入节点和构件的详图设计阶段。也就是说，只要方案设计和初步设计做得深入、透彻，则施工图设计阶段是不会出现全部再重新设计一遍的可能性的。因为整个设计过程是一个循序渐进的发展过程，即从创造（方案设计阶段）和优化改进（初步设计阶段）总结结构体系及其与主要分体系之间的受力特征，到最后具体落实构件和连接节点的细部构造。

【例 1-3】法兰克福商业银行总部大楼

在这三个设计阶段中，结构工程师与建筑师密切合作、不断探索、开拓、反馈与优化的近期典型工程实例，就是 1996 年底建成的德国法兰克福商业银行的 61 层总部大楼（见图 1-5）。在 1991 年发布的招标书中业主明确强调是在寻求一个确确实实与众不同的创新建筑物，并提出：“设计的环境呵护的好坏应和使用功能的价值一样重要。”即要求在这个三角形建筑平面内，必须有一边是空中花园，而办公楼区只能设置在另外两侧，并且在每层办公楼区的任何位置上，办公人员都能抬头就看见这美丽的空中花园。建筑师的最初想法是将三角形建筑的正面从下到上全都设计成空中花园，而将两侧斜面设计成办公楼区，并在大楼的中央设置核心筒。这不但对结构的整体受力性能不利，而且中央核心筒势必会遮挡办公人员对空中花园的视线，这也不符合业主要求。所以，建筑师关于大楼整体建筑形式的初步构思完全被否定。

在共同合作竞标伙伴，英国 Ove Arup & Partners 公司的结构工程师的帮助下，将这座大楼的整体建筑空间形式改成在三角形大楼的每一侧都由每 6 层办公楼区之间加插一个 3 层楼净高的空中花园所组成，而大楼三边的空中花园都是按顺时针方向往上盘旋错层相接来设置。并取消了核心筒，在建筑平面的三个角区都分别设置了作为电梯、楼梯和服务设施竖向通道的角筒。同时将沿三面错层设置的 6 层办公楼区全部设计成空腹桁架（Vierendeel truss，也即无斜腹杆的多层构架），并分别与三个角筒有机相连，见图 1-6 和图 1-7。这不但满足了业主所要求的每一层都有一面是空中花园的心愿，并在建筑物的中央增加了一个有利于通风和观赏的玻璃天井。同时还为业主和世人开拓了一种角筒——错层空腹桁架的结构新体系来确保这个创新建筑的结构整体受力性能，并大大地提高了整幢大楼的侧向刚度。

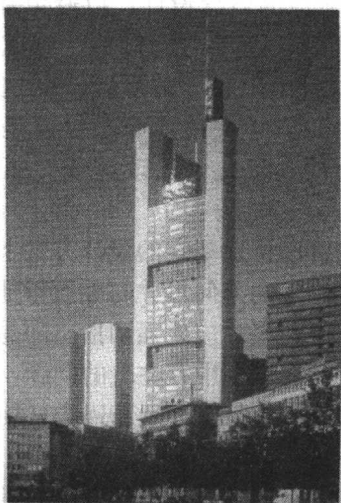


图 1-5 法兰克福商业
银行总部大楼

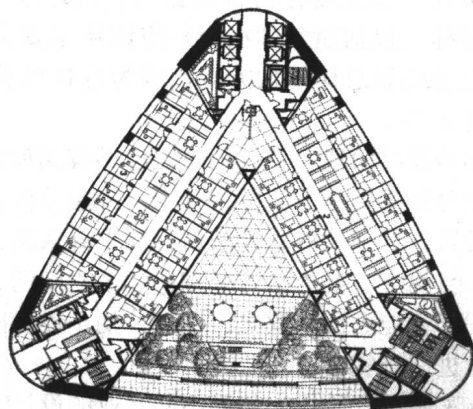


图 1-6 建筑平面图

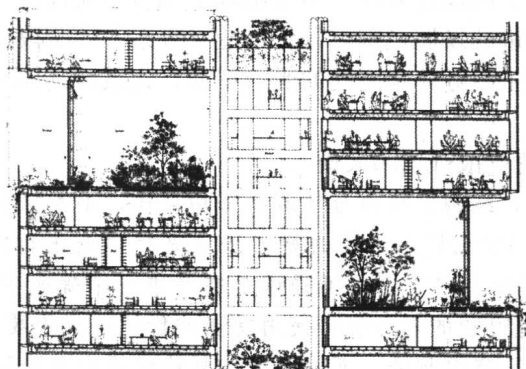


图 1-7 建筑剖面示意图

在胜标后的初步设计优化过程中，结构设计人员通过比较发现，这6层办公楼加3层楼净高空中花园的方案对结构整体刚度和净使用面积与总建筑面积的比率之间的关系协调并不是十分理想，而且胜标方案中按法兰克福地基基础常规做法的方案设计也极不合理。最后将每6层办公楼加插一个3层楼净高空中花园的方案改进成每8层办公楼加插一个4层楼净高的空中花园，见图1-8。这样就在满足业主的需求下取得了更进一步的综合经济效益。

这栋欧洲目前最高的建筑确实是一种富有创新精神、不断探索、反馈和优化的非常设计 (highly-engineered)，按结构设计当事人的话来讲是“突破了所有的常规做法” (‘breaks all the rules’)。

从上述三个世界著名的工程实例中不难看出，一个结构项目工程师对总体方案设计所持的态度不同——拼凑、组合、综合或整体构思，则其设计过程中的理念、手法、目标和效果也势必截然不同，甚至完全相反，见图1-9。

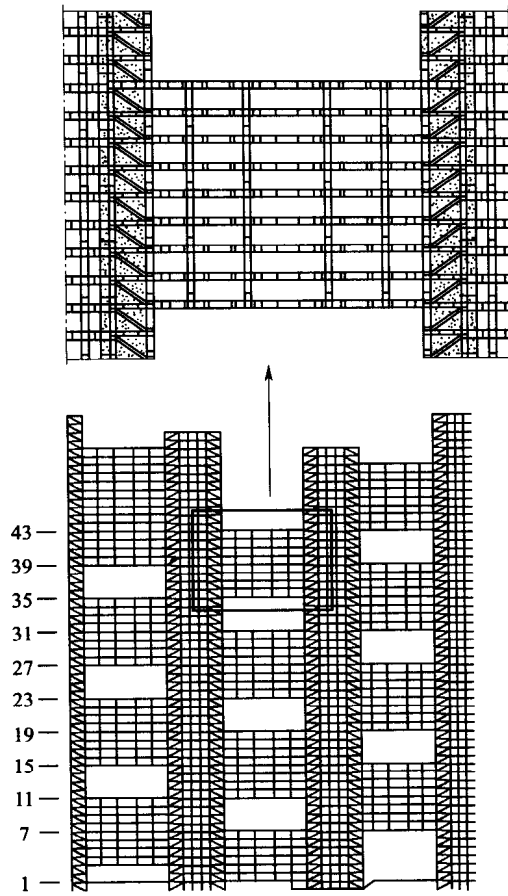


图 1-8 结构立面展开图

	最小 ←—— 重视总体方案设计、反馈、优化 ——→ 最大			
设计者的态度	拼 凑	组 合	综 合	整体构思
设计理念与手法	看到需要什么就往上加什么	部分从属于主要形式的构思	协调各部分以优化相互关系	整体构思形成有机的结构总体体系
目标与效果	反 效 果	只考虑形式本身	功能决定形式	形式与功能统一
	最大 ←—— 对空间形式与功能的制约，施工图设计中的矛盾与反复 ——→ 最小			

图 1-9 结构工程师对设计的态度及其效果