

7.0938
S 55

372903

高层建筑结构分析与设计

〔加〕B. S. 史密斯 编著
〔英〕A. 库 尔
陈 瑜 龚炳年等译校



地震出版社

1993

(京)新登字 095 号

DY82/20

内 容 提 要

本书系统地介绍了高层建筑各种结构体系的近似分析法和精确分析法,包括分析假定、结构模型、计算实例。除讨论重点和有共性的设计原则外,还阐述了关于结构稳定性、舒适度、动力反应和混凝土建筑的徐变、收缩、温度效应等问题。本书可供建筑结构研究和设计人员、工程管理人员以及大专院校有关专业师生参考。

Tall Building Structures

Analysis and Design

高层建筑结构分析与设计

加 B. S. 库 尔 著

〔英〕 A. 库 尔 著

陈 楠、吴炳年等译校

地 震 出 版 社 出版

北京民族学院南路9号

北京通县向阳印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

850×1168 1/32 19 印张 477 千字

1993 年 12 月第一版 1993 年 12 月第一次印刷

印数 0001—4000

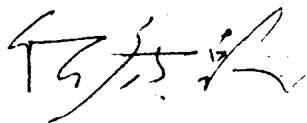
ISBN 7-5028-0765-9/TU · 69

(1158)定价:21.00 元 .

译 序

加拿大 B. STAFFORD SMITH 和英国 A. COULL 两位教授历 25 年对高层建筑的深入研究而编写的《高层建筑结构分析与设计》一书是一部具有实际应用价值的文献性著作。这部著作介绍了高层建筑的发展史。系统地重点阐述了高层建筑结构的设计和分析,其中包括对框架、剪力墙、筒体和伸臂等各种不同类型结构性能分析的基本方法。深入浅出地讲述了近似分析法和计算机精确分析法及相应的分析假定、结构模型、计算实例。书中讨论了高层建筑中重大和有共性的设计原则,并提出对结构稳定性和舒适度原则的评估以及对高层混凝土建筑徐变、收缩、温度效应的重要性讨论,同时论述了高层建筑结构在地震荷载作用下的动力反应。

这部著作内容广泛,具实用性,值得一读。现由中国建筑科学研究院结构所陈瑜、龚炳年、黄宝清、王翠坤四位同志译出,供从事建筑结构科研、设计、教学及工程建设中的科技人员参考应用。



1993 年 5 月 28 日

译者的话

为促进国际间建筑技术的交流,使国内高层建筑的发展能够得到国外先进技术的借鉴,我们译出了《高层建筑结构分析与设计》一书,期望能对从事高层建筑结构研究、设计、教学及工程建设的科技人员、结构工程师和大专院校的师生有所帮助。

这部著作是加拿大 B. STAFFORD SMITH 和英国 A. COULL 两位教授历经 25 年的潜心研究,积累了大量的技术资料,汇集世界上重大工程的典型经验而写成的。编写中注重素材的逻辑性、条理性和统一性。书中介绍了高层建筑的发展史,系统阐述了高层建筑结构的设计准则、荷载选用和各种不同类型高层建筑结构体系的结构性能、适用条件,分析方法。其中包括框架、支撑框架、框架填充墙、板柱、剪力墙、框架剪力墙、框筒、伸臂、悬挂、芯筒、空间结构及多种结构体系的组合结构。用实例详细给出了近似分析法和计算机精确分析法及相应的基本分析假定、简化计算模型和详尽设计步骤。这些设计方法同时适用于高层钢结构、混凝土结构及钢和混凝土的混合结构。这部著作中,对高层建筑的重大和有共性的设计原则进行了重点论述。提出了对结构稳定性和舒适度准则的评估以及对混凝土结构徐变、收缩、温度效应的重要性讨论,这些方面的内容在国内尚属未涉及的范围。作为专项讨论,书中对高层建筑结构在地震荷载作用下的动力反应进行了论述。

这部著作深入浅出,以高层建筑的普遍性知识和概念为基础,给出了具体的设计方法和步骤,引伸出一些重大的设计原则。内容系统而广泛,具有很高的实用价值。因此,我们将这部著作推荐给同行业中的同仁,以便共鉴。

本书单位制的用法尽量采用 SI 单位,但尚有少量 US 单位未能统一,望读者予以谅解。

译著的序文和一至十章由陈瑜完成,十一至十八章和附录由龚炳年、黄宝清、王翠坤完成。并由陈瑜总校译。郝锐坤教授、赵西安教授对全书进行了审校。本书编译过程中得到了周永厚和刘汉元先生的通力支持,出版过程中尚得到很多朋友的热情帮助,在此一并致谢。

由于水平所限,难免有错误和不妥之处,请读者指正。

中国建筑科学研究院结构所

陈瑜 龚炳年

1993年5月

序

本书是两位作者经过多年对高层建筑结构的研究所取得的成果。从 60 年代中期在英格兰 Southampton 大学的研究开始,到后来分别在 Surrey 大学、McGill 大学、Strathclyde 大学和 Glasgow 大学的研究工作,共历时 25 个春秋。

在这个时期的最初阶段,迅速发展的新结构形式促进了实用分析方法的形成。在后来的 25 年里,与分析理论不断发展的同时,高层建筑的设计与施工在世界范围内取得了巨大的进步。

最早形成的近似理论分析方法主要用于解决特殊的大部分为二维的结构形式,而更复杂的三维结构体系仍面临无法克服的挑战。后来,计算机的硬件和软件有了长足进步,计算机功能的增强和大量基于位移法的综合性通用分析软件的出现为结构分析方法的发展提供了必要的手段。一般来说,现代理论对精确分析任何实际复杂的弹性结构都是完全可能的,只是需要强调计算机的有效容量、计算速度和价值。

然而,分析设备的巨大潜力还必须妥加利用。实际的建筑结构是非常复杂的,即使最精确的计算模型仍不得不进行简化,分析结果也总是近似的,其程序取决于所选择的模型和分析方法。因此必然导致具有足够的精确性又尽可能经济有效的结构分析模型的研究。初步设计阶段的结构分析模型与最终设计相比常常是不相同的,也没有那样复杂。

计算模型的研究是结构分析中最困难的一个方面,需要判断边界条件和对高层建筑的结构分解及组合具有全面的了解。也就是说,分析的数据结果必须能够解释和评估真实结构,设计结果基本合理。

经过四分之一世纪的飞速发展,目前已逐渐平缓,当代进入了

整理和利用研究成果的时期。但是,迄今为止多数研究成果只能在各种杂志和期刊的研究报告中找到,工程设计人员通常不能直接使用,而本书编写的目的是为使其在工程实践中得以广泛应用。

本书的重点是高层建筑结构的分析和设计,不可能将高层设计与施工中大量综合性的方法全部集于一卷。许多非常重要的相关问题,如基础设计、施工方法、建筑防火、规划、经济分析等都不包括在本书内。这样的编写方法意在集中论述各种高层建筑结构的特殊影响,不考虑与一般低层建筑的相互关联。

本书的主要部分集中在对不同形式的高层建筑结构性能分析的基本方法,包括框架、剪力墙、筒体、芯筒和伸臂结构。介绍两种分析方法:计算机精确分析法和近似分析法。书中既有规则结构的简化分析,也强调了最重要的构件和组合体特性、作用和形式,为工程技术人员在设计中选择适当的分析方法提供指导。

书的前几章讨论结构受力,高层建筑中重大的和有共性的设计原则,最早的摩天楼建造年代及其后不同年代各种结构形式的发展过程。有一章重点论述实际结构的初步和最终分析,提出应注意考虑对结构稳定性的评估和高层混凝土建筑徐变及收缩的重要性讨论。另有一章专项论述结构在地震荷载作用下的动力反应,包括高层建筑运动时人的反应。

每章后均附有参考文献目录。这样的设计有几个目的:摘记历史上的重要论文;介绍重要著作的参考文献目录;指出论文所在章节。避免因现代文献太多而目录广泛,以至占用过多篇幅。对于因精简和编著者的大意造成许多著作的作者被遗漏表示歉意。

考虑不同国家的不同情况,在决定实例中图示和公式的单位时进行了统一。本书中采用 SI 和 US 单位制。

编著此书旨在两个意图。首先,希望将多年来在高层建筑设计与施工方面连续研究的成果向世界推广,这将对工程技术人员具有实际价值。其次,注重素材的逻辑性、条理性和统一格式,期望能

满足独立专业训练法的基本格式,成为大学毕业班课程的辅助教材和大学高年级入门科目。

本书编写过程中得到了许多朋友、同事和本领域里同行们的关心,受到高层建筑和都市环境委员会的启发,借助于高层建筑规划与设计国际委员会而取得成功,他们从本书写作的开始就曾给予帮助。因在大学中工作的特殊条件有机会与青年们进行交流。为此,作者对以上各界人士在多年的工作中给予的协助深表谢意。在参考文献和文献目录中缘引了许多上述人士和本领域著名学者的名字,作者在这里对他们表示非常的感谢。

虽然课题素材在长期的写作期间有所变更,但作者仍感谢在这部著作最初阶段参与研究计划的多伦多大学教授 Joseph Schwaighofer 。

最后,作者希望向 McGill 大学的 Ann Bless、Regina Gaiotti 和 Marie Jose Nollet,Queens 大学的 Andrea Green,Glasgow 大学的 Jure Lawn 和 Tessa Bryden 表示感谢,感谢他们在本卷的创作中做出的巨大贡献。

魁北克 蒙特利尔 B. STAFFORD SMITH

苏格兰 格拉斯哥 A. COULL

1991 年 1 月

目 录

第一章 高层建筑

1.1 为什么建造高层建筑	(1)
1.2 高层建筑发展的影响因素、高度和结构形式	(2)
1.3 高层建筑结构	(5)
1.4 原理、范围和要点	(7)
1.5 目的	(8)
参考文献	(9)

第二章 设计准则

2.1 设计原理	(10)
2.2 荷载	(11)
2.3 强度和稳定性	(12)
2.4 刚度和位移限值	(13)
2.5 舒适度原则	(15)
2.6 徐变、收缩和温度效应	(16)
2.7 防火	(16)
2.8 基础沉降和土-结构相互影响	(17)
小结	(18)
参考文献	(19)

第三章 荷载

3.1 重力荷载	(21)
3.2 风荷载	(23)
3.3 地震荷载	(28)
3.4 荷载组合	(33)
小结	(35)
参考文献	(36)

第四章 结构体系

4.1 结构体系	(42)
4.2 钢筋混凝土楼面	(65)
4.3 钢结构楼面	(70)
小结	(73)

第五章 分析模型

5.1 分析方法	(76)
5.2 基本假定	(79)
5.3 高层建筑的性能	(81)
5.4 近似分析模型	(83)
5.5 精确分析模型	(91)
5.6 简化方法	(104)
小结	(122)
参考文献	(124)

第六章 框架支撑结构

6.1 支撑类型	(126)
6.2 支撑的性能	(129)
6.3 有支撑单榀结构的性能	(132)
6.4 分析方法	(134)
6.5 巨型支撑的使用	(146)
小结	(152)
参考文献	(153)

第七章 框架结构

7.1 框架结构的性能	(155)
7.2 重力荷载作用下构件内力的近似计算	(157)
7.3 水平荷载作用下构件内力的近似计算	(164)
7.4 位移的近似分析	(180)
7.5 板柱结构——等效框架	(187)
7.6 框架的计算机分析	(190)
7.7 框架分析的简化	(191)

小结	(194)
参考文献	(196)
第八章 框架填充墙结构	
8.1 框架填充墙结构的性能	(200)
8.2 框架和填充墙的内力	(201)
8.3 设计步骤	(205)
8.4 设计方法小结	(210)
8.5 实例	(212)
小结	(214)
参考文献	(214)
第九章 剪力墙结构	
9.1 剪力墙结构的性能	(217)
9.2 均匀剪力墙结构的分析	(219)
9.3 非均匀剪力墙结构的分析	(224)
9.4 非均匀结构的性能	(235)
9.5 剪力墙在基底非完全连续的影响	(238)
9.6 剪力墙的应力分析	(241)
小结	(247)
参考文献	(248)
第十章 联肢剪力墙结构	
10.1 联肢剪力墙结构的性能	(250)
10.2 分析方法	(252)
10.3 连续介质法	(254)
10.4 模拟框架的计算机分析	(286)
10.5 计算机有限元分析	(293)
小结	(296)
参考文献	(296)
第十一章 框架剪力墙结构	
11.1 对称框架剪力墙结构的性能	(301)
11.2 框架剪力墙结构的近似分析	(304)

11.3 图表法分析	(312)
11.4 近似分析实例	(314)
11.5 计算机分析	(321)
11.6 框架剪力墙结构设计建议	(323)
小结	(325)
参考文献	(326)

第十二章 筒体结构

12.1 筒体结构的性能	(328)
12.2 一般的三维结构分析	(343)
12.3 对称筒体结构的简化分析	(344)
小结	(354)
参考文献	(355)

第十三章 芯筒结构

13.1 翘曲变形概念	(357)
13.2 薄壁筒受扭时的扇性特性	(363)
13.3 均匀筒受扭时的翘曲约束理论	(372)
13.4 设计曲线的应用	(381)
13.5 用公式和设计曲线分析的实例	(383)
13.6 薄壁筒结构的计算机分析	(390)
小结	(400)
参考文献	(405)

第十四章 伸臂结构

14.1 分析方法	(407)
14.2 内力与位移的一般解	(414)
14.3 伸臂层的最优位置	(416)
14.4 伸臂结构的性能	(417)
小结	(423)
参考文献	(423)

第十五章 基本理论

15.1 联肢剪力墙理论	(426)
--------------------	-------

15.2 位移方程的力学意义	(431)
15.3 在其它类型结构中的应用	(432)
15.4 在混合单榀结构中的应用	(435)
15.5 方法的精度	(437)
15.6 实例	(438)
小结	(441)
参考文献	(441)

第十六章 高层建筑的稳定

16.1 框架的整体屈曲分析近似法	(442)
16.2 框架剪力墙的整体屈曲分析	(446)
16.3 重力荷载的二阶效应	(453)
16.4 一阶和 $P-\Delta$ 联合分析	(461)
16.5 平移-扭转失稳	(466)
16.6 垂直偏差的影响	(468)
16.7 稳定分析中构件的刚度	(470)
16.8 基础转动影响	(470)
小结	(472)
参考文献	(473)

第十七章 动力分析

17.1 风荷载引起的动力反应	(477)
17.2 地震作用下的动力反应	(489)
17.3 舒适度的判别准则:人对建筑物运动的反应	(513)
小结	(520)
参考文献	(521)

第十八章 徐变、收缩和温度效应

18.1 不同形式变形的影响	(524)
18.2 不同变形时的设计处理	(525)
18.3 徐变和收缩影响	(527)
18.4 温度效应	(540)
小结	(543)

参考文献	(544)
附录 1 联肢剪力墙的计算公式和设计曲线	
A1.1 两种荷载的计算公式和设计曲线	(545)
A1.2 在不同柔性支承条件下联肢剪力墙的计算公式	(552)
A1.3 连接剪力墙的楼板刚度	(556)
参考文献	(568)
附录 2 框架剪力墙和芯筒结构的计算公式和图表	
A2.1 计算位移和内力的公式及图表	(570)
文献目录	(580)

第一章 高层建筑

本书涉及的是高层建筑结构。高是一个相对的概念,因此高层建筑不能简单的用高度或层数定义。建筑很高是与人的感觉和地区的环境有关的。所以,对什么是高层建筑就无法用一个统一的标准定义。不过从结构工程师的观点出发,一个高层建筑是:在结构设计中,因建筑的高度,使侧向风荷载或地震作用的影响,将起重要作用。这些荷载和作用的影响必须在设计的最初阶段就加以考虑。

1.1 为什么建造高层建筑

人类从文明社会的开始就向往着高楼大厦,最初建造的高大建筑是为了防御侵略,随之发展到教会建筑。现代高层建筑的建造始于19世纪80年代。那时大部分用于商业和住宅建筑。

由于商业活动的需要,高层商业建筑接踵而起,并且都尽可能的位居城市中心,因此使城市中心空余的土地面积严重短缺。也就是说,因为它们形成了特殊的商业区,高层商业建筑如同企业机构的声望象征在城市中心不断的发展。进而,商业和旅游业活动与日俱增,需要发展更高层的位于城市中心的宾馆提供住宿。

迅速增长的都市人口和随之减少的有限空地已经相当大地影响了城市住宅的发展。土地价格的昂贵,期望避免都市的过度膨胀,必须保护重要的农业生产等要求都将促使住宅建筑向空间发展。在一些城市中,例如香港和里约热内卢,由于土地面积紧缺,高层建筑是解决住房需求的唯一手段。

1.2 高层建筑发展的影响因素、高度和结构形式

高层结构的可行性和适用性总是依赖于高质量的材料,施工技术的水平,建筑使用过程中必要的服务设施。结果是发生了有意义的进步,一次又一次地出现新的材料、施工设备或各种服务设施。

多层建筑是古罗马时期的特点,4层木结构住宅建筑普遍采用梁、柱构成。遭 Nero 大火之后,在拱和筒形穹顶结构建筑中开始使用新的砖和混凝土材料。一直延续到下个世纪,基本的建筑材料仍是木材和砖石两种。木材的材料强度低,建筑不能超过5层,并且总是存在火灾的危险。而砖石材料具有较高的抗压强度和不燃性,但重量大易超载使承载力降低。到19世纪末,美国南部大量的砖石结构高层建筑迅速发展,这种结构形式最高的建筑是建造于1891年的16层芝加哥 Monadnock 大楼,该建筑下部墙体厚度超过2m占去了大量的楼面面积,这是在城市中最后一幢采用巨大的砖石承重墙的高层建筑。

19世纪的工业化引起了社会经济飞跃,要求在增长的美国城市中增加建筑使用面积,形成对建造高层建筑的强烈刺激。但是,这次高层建筑的发展没能持续,因为在19世纪中期尚未发生两个技术革新:高强度和对结构更有效的材料(锻铁和钢材)的发展,及电梯的生产(见图1.1)。虽然,早在20年前就已经有了电梯,但直到1870年纽约的 Equitable Life Insurance 大楼开始使用,它在高层建筑中的潜在力才被证实,建筑的上层出租第一次比下层出租具有了吸引力,因此高层建筑产生了经济活力。

新材料促进了轻骨架结构的发展,允许高度任意和内部大空间及大开窗。然而,最早期的铁框架结构仍然采用砖石自承重维护墙。第一幢完全用金属框架承重的高层建筑是建于1883年的11