

获奖高层建筑 结构论文集

黄汉炎 著



华南理工大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

获奖高层建筑结构论文集/黄汉炎著. —广州:华南理工大学出版社, 1997. 4
ISBN 7-5623-1109-9

I. 获…

II. 黄…

III. 建筑结构—论文集

IV. TU 209

华南理工大学出版社出版发行

(广州五山 邮编 510641)

责任编辑 赖淑华

*

各地新华书店经销

华南理工大学印刷厂印装

开本: 787×1092 1/16 印张: 6.5 插页 2 字数: 156 千

1997 年 4 月第 1 版 1997 年 4 月第 1 次印刷

印数: 1—1100

定价: 18.00 元

序 言

随着我国社会的进步和经济技术的发展,高层建筑已成为当今城市建设的时代特征。大量的民用或公用高层建筑如雨后春笋般地涌现在全国各大中城市,其中有部分超高层建筑在高度、内外装饰以及配套设施等方面已达到或接近世界第一流的水平。

常言道,“罗马并非在一夜之间建成”,中国高层建筑的发展历程是艰难而曲折的。黄汉炎总工程师正是这一过程的亲历者和见证人,在他负责设计或主持的众多项目中,有60年代全国最高的广州宾馆,70年代全国最高的超高层建筑白云宾馆,有改革开放之初国内首家高层五星级白天鹅宾馆,80年代国内首家超高层全玻璃幕墙写字楼广州世界贸易中心,以及新落成的国内首次应用钢管高强混凝土柱的超高层建筑广州好世界广场。很多项目都获得了国家、建设部和省市的各项科技进步奖和优秀设计奖,而且不少技术成果在国内是为人之先,如中国第一幢超高层剪力墙结构,全长80米现浇梁板结构不设伸缩缝,开洞式现浇大板楼板,首次应用钻、冲孔桩处理高层结构地基,近年又在超高层建筑结构中首次应用钢管高强混凝土柱等等。如今,这一幢幢巍然耸立的建筑物已成为中国高层建筑史的一个个里程碑。

本书凝聚了黄汉炎总工程师近四十年工程实践的思考和总结。由于每篇文章都是针对某一具体项目而写的,所以各篇文章的成文年代各异,这使本书具有双重的价值——除了高水平的学术含量之外,读者还可以从中了解到我国高层建筑技术的发展脉络,以及在特定的经济技术条件下如何进行创新和开拓,我深信这无论对工程界或学术界都是大有裨益的。



中国工程院院士 莫伯治
1997年元月于广州

前 言

我国高层建筑从 60 年代开始起步,其中广州宾馆(27 层)于 1964 年始建,1966 年落成,为现浇式钢筋混凝土剪力墙梁板结构体系,是我国第一座高层建筑。

白云宾馆(33 层)始建于 1972 年,1974 年落成,为现浇式钢筋混凝土剪力墙梁板结构体系,是我国第一座高度最高、层数最多的超高层建筑,曾获全国优秀建筑设计二等奖。其剪力墙计算理论及建筑实践一文获 1978 年全国科学大会奖。

80 年代高层建筑有了迅猛的发展,广州相继建成白天鹅宾馆——获全国优秀设计一等奖,获全国科技进步金质奖(二等奖),90 年代初建成世界贸易中心大厦——获省、市优秀设计一等奖,1996 年建成“好世界广场”大厦——获省建委科技进步一等奖,建设部科技进步二等奖,广州优秀设计一等奖。

这几座广州著名的建筑物是 60 年代到 90 年代从一个台阶跃上另一个台阶地发展起来的,在建筑和结构处理、相互协调等方面达到了较为完美的境界,收到了“经济、适用、美观”的良好效果,这里将几项不同时期兴建的高层建筑结构论文汇集起来,介绍给读者参考,相信对读者会有所裨益。

为了参考方便,下面分别介绍几座不同时期建造的高层建筑结构的特点。

一、白云宾馆(广州宾馆结构类同不另作介绍):其平面尺寸为 $18\text{m} \times 76.3\text{m}$,层数为 33 层,总高度为 117.45m (剪力墙总高度为 103.75m),是现浇式钢筋混凝土剪力墙、梁板结构,由于当时兴建高层建筑还是处于初始阶段,设计上没有经验,有几个问题需要探讨和解决:(1) 结构造型:考虑到抗震和抗风和结合宾馆平面的适用和经济情况,采用了现浇式钢筋混凝土剪力墙、梁板结构。(2) 剪力墙板用钢筋混凝土梁联结时,其节点的应力集中情况如何,构造怎样处理:为了较深入了解这些情况,专门进行了在水平力作用下的光弹模型试验,实践中按照应力集中和分布规律,加强了节点和连杆的构造。(3) 受外力作用时各种变形对结构计算影响如何:当时电子计算机系统及软件均未完备,通过几种不同的计算方法,将各种不同的结果进行比较,确认在高层设计计算中压缩变形不能忽略的结论。(4) 其平面尺寸长度为 76.3m ,要求有一座完整的超高层建筑物,是否可以不设伸缩缝(当时规范对现浇式钢筋混凝土梁板结构其容许长度仅为 30m):为了解决这个问题,探讨了温度对剪力墙和梁板结构的影响,基本掌握了砼收缩与膨胀时,剪力墙和梁板应力的分布规律,按照其规律,合理地配置受拉构造钢筋,并着重加强薄弱位置的构造处理,同时在施工阶段预留了一度后浇缝,这样解决了混凝土不会集中开裂的问题。(5) 在地形变化较大,土质复杂,建筑物重量大的情况下如何处理地基承载力:首次运用大型钻冲孔灌注桩解决这类情况的地基承载力问题,广州宾馆和白云宾馆已经历二十多年,使用情况和

质量良好。

二、广州白天鹅宾馆 1980 年始建,1982 年落成,其棱形平面尺寸为 $\begin{matrix} 17\text{m} \\ 27.5\text{m} \end{matrix} \times 80\text{m}$,层数 28 层,楼总高度 90.35m,总建筑面积约 100 000m²,是现浇式钢筋混凝土剪力墙、大板楼板结构。其主要结构特点:白天鹅宾馆是广州开放改革早期的中外合资兴建的现代化大型宾馆,当时香港亦参与设计竞争,对设计提出了较高的要求,外形要新颖、美观,室内空间舒适合理,既要安全、经济又要节约能源,施工速度要快,同时要在水位下建造大型地下室作洗衣机房、设备房或仓库之用。针对这种情况,如沿用梁板式的楼板系统不能满足要求,故当时采用了 8m×8m 的开洞式大型连续楼板,取消了梁的系统,楼层高度仅为 2.8m,板厚 20cm,可将全部水平放置的管道预埋在板内。大型开洞式楼板经过严格计算和构造,并在全楼长度为 80m、不设伸缩缝的情况下,使大楼收到经济、安全适用和节约能源,加快施工速度的效果。在水位下建造大型地下室是一个难题,我们采用了钢筋混凝土围闭式连续墙的结构方案,连续墙既能承重,又能挡土和防水,为处在水位高的高层建筑建造大型地下室积累了经验。白天鹅宾馆由于结构和建筑的良好配合,一座具备中国园林风格和具有国外先进设备的现代化大型宾馆,成功地耸立在珠江之滨,得到国内外友人的赞誉。

三、广州珠江实业中心(广州世界贸易中心)于 1989 年始建,1992 年落成,其平面由两个三角形塔楼组成,分南北两塔,南塔共 33 层(地下室 3 层),楼总高为 109.35m,北塔共 37 层(地下 3 层),楼总高为 116.6m,两塔楼总建筑面积为 96 000m²。其主要结构特点:(1) 三角形结构平面刚度相对其他平面形状来说(如矩形、方形、圆形)是较大的,但外围抗扭转刚度小,扭转变形较大,故在几个外角部位的结构构件应予加强。(2) 由于两三角形塔楼相距很近,仅为 10.4m,会形成一种特殊的风力场,为了掌握情况,故对建筑物进行了风洞试验,发现三角形塔楼的公共靠边的墙面出现激增的负压,启示了高层之间相距较近时风力的影响应予以重视。(3) 南塔楼要求负一层设通道,宽为 16.39m,故塔楼在路面上的荷载(核心部位)采用钢筋混凝土传递层作为支承层,传递层大梁是将架空了的上层墙柱荷重传至通道两边的带柱剪力墙上。采用传递层方法传递荷载是有效的方法,传递大梁受力过程进行了应力应变的观察,直至主楼结构和内部主要隔墙地面装饰完成为止,观察数据反映,传递大梁受力状态正常,大梁工作已经历六年多时间,情况良好,为大城市的高层建筑设置大型交通通道提供了经验。

四、“好世界广场”大厦于 1992 年始建,1995 年落成,层数 36 层(3 层地下室),楼总高度 113.5m,总建筑面积 57 000m²。其主要结构特点:(1) 由于主楼在地面上要设置 6 层车库(共放置 400 辆小汽车),因而以垂直交通为主体的核心筒结构不能放在主楼的中心位置,为了解决刚度及扭转问题,将通常惯例的核心筒分成三个框架剪力墙体系,设置在建筑物的边角处,经过几次运算,确定了各框架剪力墙的尺寸,形成有效的抗侧力结构体系,为不对称的超高层建筑设计提供了实践经验。(2) 首次将钢管高强混凝土柱应用在超高层建筑中,为解决胖柱问题、加强抗震抗风能力和应用逆法施工多层大型地下室提供了良好的新型结构,并提供了钢管高强混凝土柱和钢筋砼梁板接头的有关设计资料,这是一项新的技术,国外亦甚少这种资料,这项新设计技术已被成功地应用,并于 1995 年 11 月

通过建设部鉴定,认为“钢管高强砼应用于高层及超高层建筑结构是符合中国国情的,值得推广,设计及施工总体上达到国内领先水平”。

五、玻璃幕墙是由设计部门组织国内有关部门合作,自行设计,自行施工,自行安装,按制度验收的大型玻璃幕墙。为了能发展我国有关玻璃幕墙的工业,故介绍供参考。

这里仅将几幢较有影响的高层建筑进行总结,其余如金融大厦、江南大酒店等等(分别荣获省优秀设计三等奖)还有待抽出时间整理介绍。因时间所限,本书可能会有不少缺点和错误,请批评指出。

三十多年来,由于党的重视以及各单位领导的支持,本单位在高层建筑设计领域中培养和造就了大批专家和人才,如朱秉恒、叶富康、周展开、刘仲藩、曾国光、余耀胜等高级工程师,他们都在高层建筑设计中做出了成绩和贡献。

在几十年的高层建筑设计 and 实践中,能和莫伯治等著名建筑大师合作实属荣幸,其中在技术上得到他们的指导和帮助,得益尤深,谨表谢意。

另对这本册子的出版工作给予大力支持的珠江海南实业股份有限公司,珠江外资建筑设计院,陈开庆教授,梁宇行副院长等单位和个人特表谢意,已故郑超总工程师和陈伟廉副总建筑师在60~80年代的高层建筑结构和建筑事业中作出了贡献,籍此书出版之际以表怀念!

黄汉炎

1997年1月于广州



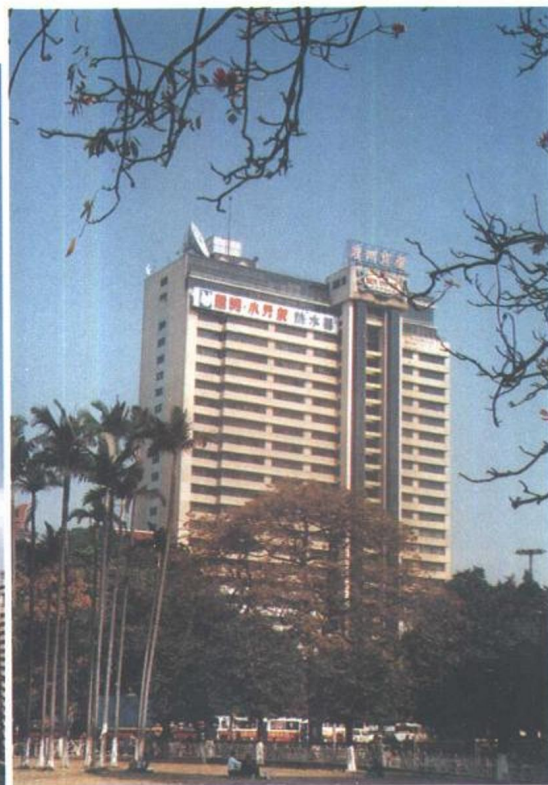
作 者 简 介

黄汉炎，高级工程师，1933年农历5月25日生，广东省东莞人。1957年毕业于华南工学院土木建筑工程系，现任广州珠江实业集团总工程师，华南理工大学建筑设计研究院教授，广州市人民代表大会常务委员会副主任，中国高层建筑结构委员会委员，广州市优秀专家，1992起获国务院特殊津贴。由60年代起参加和主持高层建筑结构设计工作，其中较著名的高层建筑有：60年代的新爱群大厦、广州宾馆，70年代的白云宾馆，80年代的白天鹅宾馆、国际金融大厦、江南大厦，90年代的世界贸易中心大厦、好世界广场大厦等等。

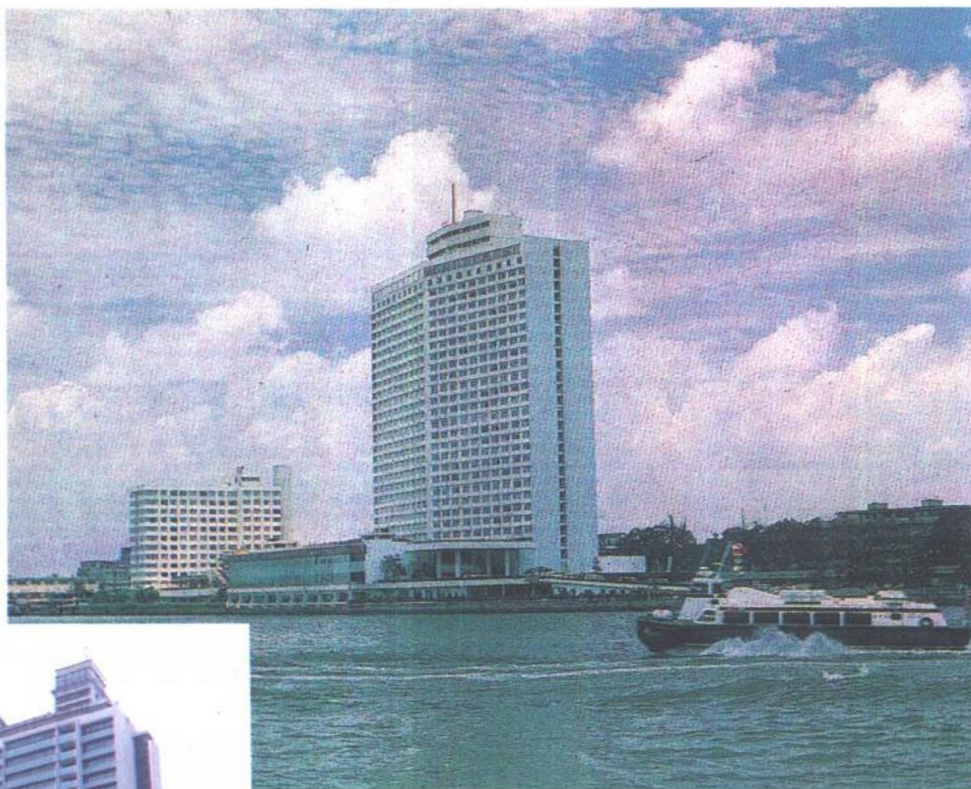
► 广州国际金融大厦



▼ 广州世界贸易中心



▲ 广州宾馆



▲ 广州白天鹅宾馆

▼ 江南大酒店



▲ 白云宾馆



目 录

高层建筑剪力墙计算理论及应用(广州宾馆及白云宾馆)	1
广州白天鹅宾馆结构设计	20
广州珠江实业中心结构设计(广州世界贸易中心大厦)	51
钢管高强砼柱在“广州好世界广场”超高层建筑工程中的应用	67
广州世界贸易中心玻璃幕墙技术	82

高层建筑剪力墙计算理论及应用

(广州宾馆及白云宾馆)

近十多年来,由于城市建设的发展和外交路线上的需要,广州要兴建九幢高层建筑,如新人民大厦(18层),广州宾馆(27层),白云宾馆(33层)。在设计过程中,我们曾作了结构方案的选择、理论计算工作的探讨及结构构造处理等方面的工作,现仅就上述几方面问题作简介如下。

一 结构方案选择的几点原则

- (1) 使用合理。
- (2) 经济节约。
- (3) 平面形状要简洁,适宜做成矩形、方形或接近矩形,如避免不了凹凸形状,则应尽量减少结构物刚心和重心的偏移。
- (4) 楼房沿全高的重心应尽量往下移(避免上重下轻的现象)。
- (5) 抗水平力的抗侧力结构应沿两个主轴方向较均匀地布置,最好能使垂直荷重多集中在剪力墙上。
- (6) 建筑物平面尺寸控制以不设置变形缝为好。
- (7) 控制层间位移值以免隔墙和玻璃开裂。
- (8) 框架和剪力墙混合方案层数宜控制在20层以下,剪力墙方案层数宜控制在20~40层,当结构层数更多时可用中心环体系方案。

二 27层及33层剪力墙布置

为了能达到抗风、抗震和使用上具有良好空间,这两座旅馆选用了剪力墙结构方案,为了能起到经济合理效果,将大空间的门厅、餐厅抽到多层结构外面,使剪力墙能合理地沿两个主轴方向布置,其平面如图1、图2所示,墙厚见表1、表2。现分别将结构特点分述如下:(剪力墙按抗12级台风及七度地震设防)

本文发表于1978年全国科学大会,获全国科学大会奖。本文项目获全国优秀设计二等奖。

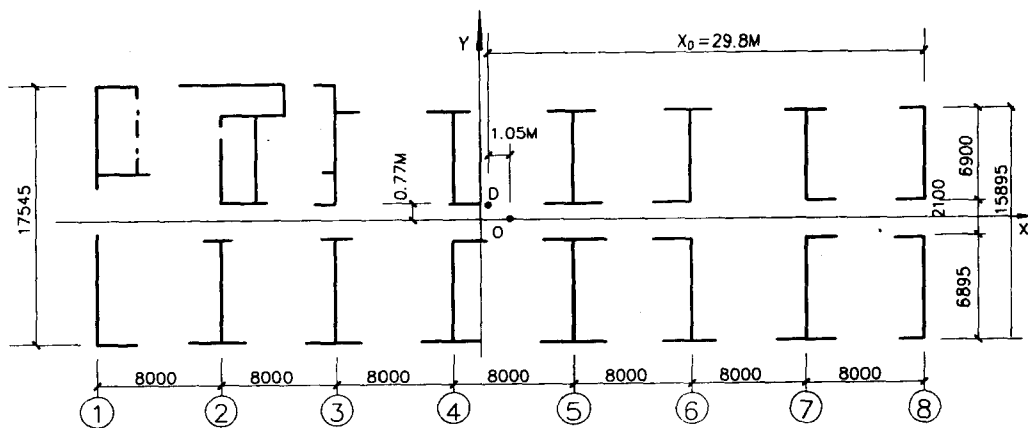


图 1 广州宾馆结构平面(图中 D 为刚度中心, O 为重心)

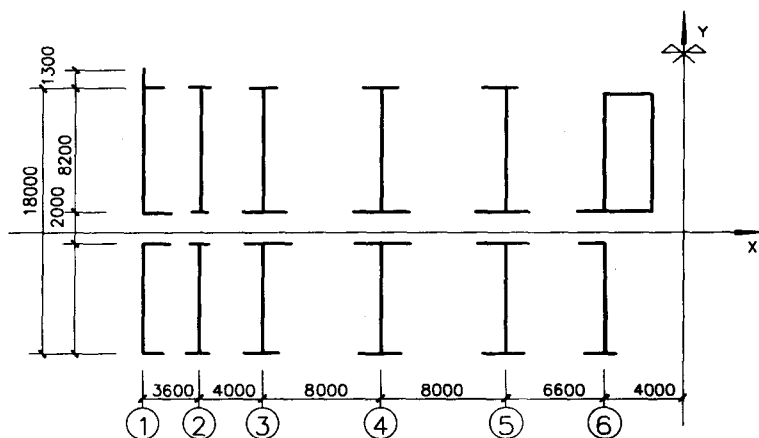


图 2 白云宾馆结构平面

表 1 33 层剪力墙厚度与所在层砣标号

层 号		1—4	5—8	9—12	13—16	17—20	21—24	25—28	29 以上
墙厚 (cm)	横墙	32	29	26	23	20	18	16	16
	纵墙	30	30	27	27	25	25	20	20
砣 标 号		# 300	# 300	# 250	# 250	# 250	# 200	# 200	# 200

表 2 27 层剪力墙厚度与所在层砣标号

层 号	1—4	5—7	8—10	11—13	14—16	17—23	23 以上
墙厚(cm)	30	27	24	21	19	17	15
砣 标 号	# 300	# 300	# 300	# 250	# 250	# 200	# 200

(1) 27 层平面尺寸为 $\frac{15.9}{17.5} \text{m} \times 56 \text{m}$, 首层高为 4.6m, 标准层高为 3.1m (原不设空调, 后增设空调), 除小楼建筑外, 剪力墙实高为 78m, 西北部平面往外凸出 1.6m, 在横向布置了八道剪力墙 (横向剪力墙相距为 8m), 由于②—③轴之间有电梯间及楼梯间存在, 故该部分刚度略有增加。纵向主要是靠⑦—⑧轴, ④—⑤—⑥轴之间的剪力墙组合来抵抗水平力。

(2) 平面基本接近矩形, 由于刚心和重心的偏移引起扭转的影响不大, 经分析由于扭转影响, 混凝土墙所增的剪力值, 最大的仅为 4%。

(3) 剪力墙厚度沿高度由下往上变化, 以四层为一阶段共分八个截面, 由于需要并设地下室一层, 层高为 4.5m, 经计算, 全楼重心距地面约为 $H/3$ 。

(4) 结合到广州日温差和年温差不大 (18°C), 平面全长为 56m, 内不设变形缝。

(5) 垂直荷载及均布荷重较均匀地分布在剪力墙上。

(6) 由于门厅及餐厅等大跨度空间抽到多层结构外面, 因而消除了肥梁大柱的影响, 剪力墙除发挥承重外, 还可作隔墙之用。

(7) 分析结果, 该建筑物在 12 级台风作用下, 横向剪力墙顶点最大位移值仅为 1.3cm, 层间相对位移约为 0.07cm, 实践证明结构具有良好的抗风和抗震能力。

33 层的平面尺寸为 $18 \times 76.3 \text{m}$, 首层高为 4.6m, 标准层高为 3.3m (设空调管道), 剪力墙实高为 103.75m。全楼平面内也不设变形缝, 横向在②和③轴位置增设了一道剪力墙, 主要是考虑楼房较高并附有防火梯, 地震时端部扭转会较大, 目的是增强刚度抵抗扭转, 在 12 级台风影响下, 剪力墙顶点位移为 4.2cm, 层间相对位移值为 0.22cm, 地震引起的顶点位移为 3.52cm。通过对 27 层的实践和总结, 33 层在剪力墙布置方面更趋简洁, 剪力墙之间联系较为明确, 以利于结构分析, 由于纵向剪力墙组合较明确, 故计算所得和实测结果比较, 其准确度比 27 层高。

三 剪力墙结构计算

1. 风力计算

我们参考了一些国内外资料作如下计算:

$$W = K K_z W_0 \eta \beta = K_z q, \quad q = K W_0 \eta \beta$$

式中, K 为风载体型系数, 取 1.3; K_z 为高度变化系数, 按规范取值; W_0 为基本风压值; η 为超载系数; β 为风振系数, 取 1.4。

K 值是一个和建筑物体型以及风向的角度等有关的系数, 一般迎风面为正值, 背风面为负值, 并沿高度变化。现在我们考虑建筑物近似为一独立悬臂矩形杆件, 其正负压之和 K 为 1.3, 这个值是近似的, 有待实测提高其精确度。

K_z 按现行规范取值, 其最大风压值是在建筑物顶部, 实测反映沿全高的最大风压值近似地在全楼高的 $2/3$ 处, 然后往上递减 (1975 年广州的一次特大台风中, 广州宾馆在 16~18 层的钢窗玻璃被压坏, 亦反映风压值最大约在楼高的 $2/3 H$ 处), 计算风压值曲线和

实测反映风压曲线如图 3、图 4 所示。

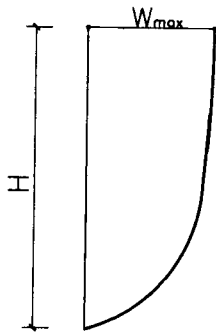


图 3 计算风压值曲线

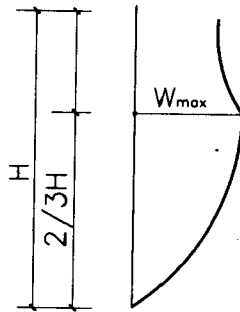


图 4 实测反映风压曲线

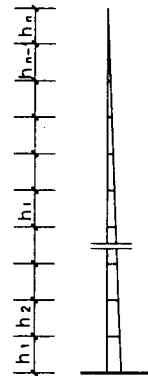


图 5 多质点变截杆件

振动系数 β 值是和结构物的自振周期和阻尼有关的动力系数,参考了日本同类高层建筑,其实测 β 值约为 1.3,如按法国和苏联规定资料分别算得 $\beta = 1.32, \beta = 1.36$,结合到我们的具体情况 β 取值为 1.4(由于高层建筑在我国还是在开始发展阶段,对于风压值的各种系数有待进一步研究),以提高其精确度,注意到在设计飘板时(如窗顶或阳台飘板)应考虑承受向上的风压分力,一般可取 $P_w = 2W$ 。

2. 地震力计算

假设高楼为一根底部固定的组合多质点变断面悬臂杆件(质点定在楼面处),如图 5 所示。当楼层荷载、组合刚度定出后,即可从动力微分方程中,求解各振型的自振周期 $T_i (i = 1 \sim 3)$ 和各质点水平力 $P_i (i = 1 \sim 3)$,按我们计算,用电子计算机(121 机)求解只需 15 分钟,现把 27 层及 33 层计算所得的振型曲线及实测曲线绘于图 6。这里提供一个经验的数字供参考,即与 27 层和 33 层在构造和平面相类似的建筑物中,其纵向实测周期所反映的刚度约相当于楼层所有墙肢整体纵向计算刚度的 20%。(关于刚度问题在现代计算软件中可用空间协调或平面框架协调方法解决。)

3. 结构内力分析

对分布较均匀的剪力墙结构,其水平力的分配可按刚度进行,所引起的误差是不大的,现以 33 层 6 轴墙板为例,结构简图如图 7 所示。分别将风力和地震力引起的内力 M 、 N 、 Q 及位移值列于图 8 及图 9。

4. 温度应力的探讨

温度对多层结构物影响大致分三部分:

(1) 基础以上部分升温或降温时水平方向膨胀或收缩产生内力与位移,其规律是二楼面内力最大然后迅速往上递减,在实践应用中特别注意将二、三楼作为构造加强层,楼板应力是中间最大,往两端渐减,有梯井孔洞削弱部位,应力亦随之增大,混凝土剪力墙的应力则是在两尽端墙(东、西)为最大值,往中间递减,如剪力墙刚度在局部位置突然增大,应力亦随之增大。

(2) 天面部分升温或降温时,水平方向膨胀及收缩产生内力及位移,其规律反映大致

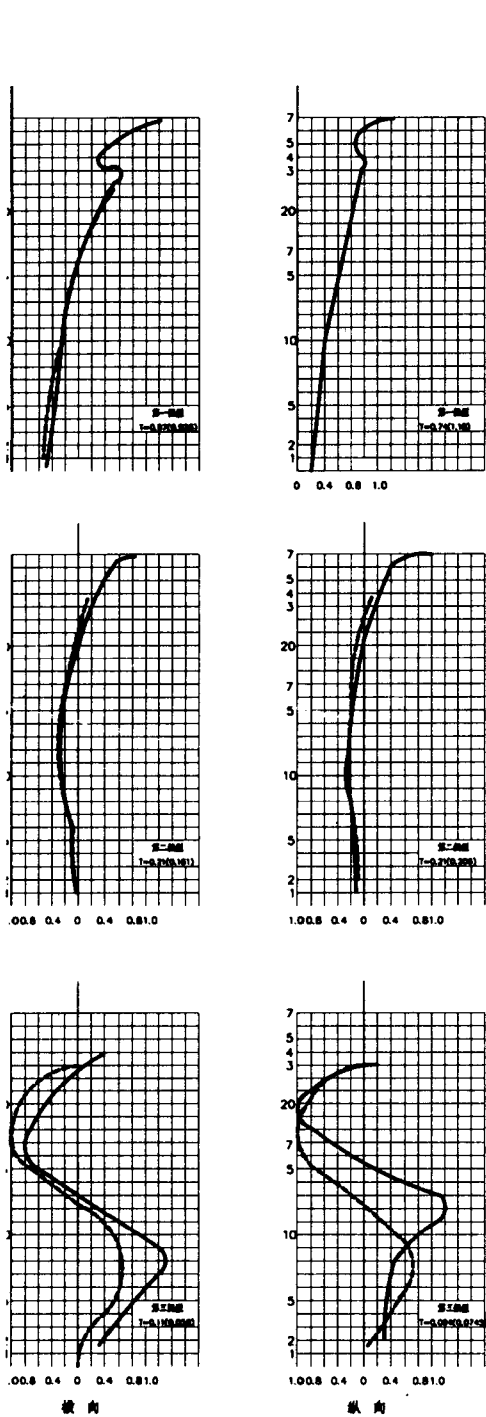


图 6a 27 层计算及实测振型曲线
注: 图内实线为实测的振型曲线, 周期 T_1 、 T_2 、 T_3 ; 虚线为计算的振型曲线, 周期 T_1 、 T_2 、 T_3 。

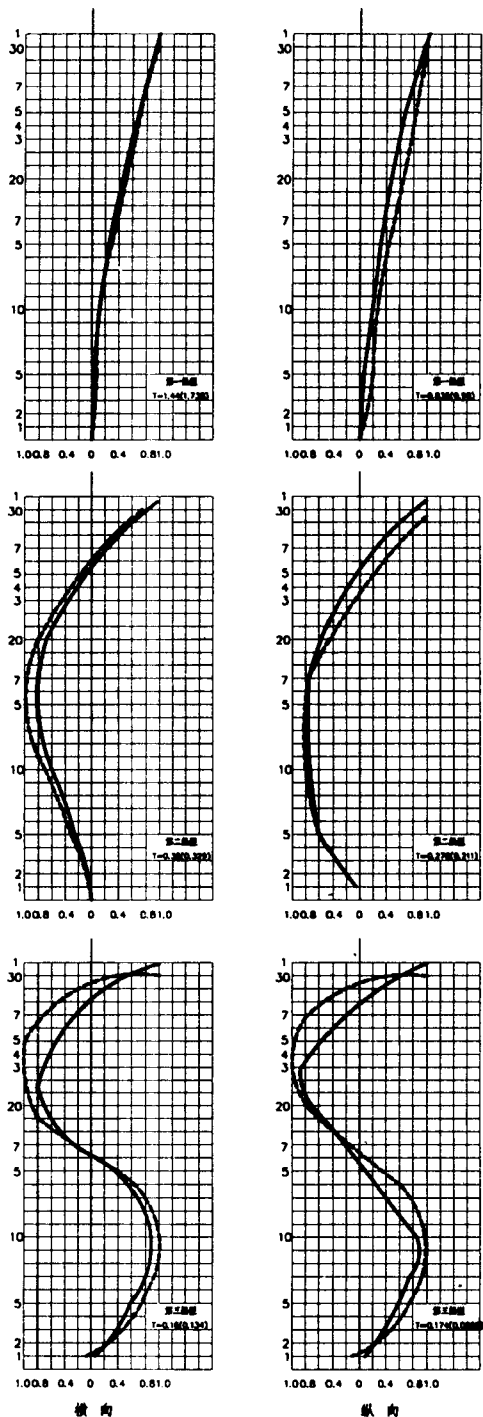


图 6b 33 层计算及实测振型曲线

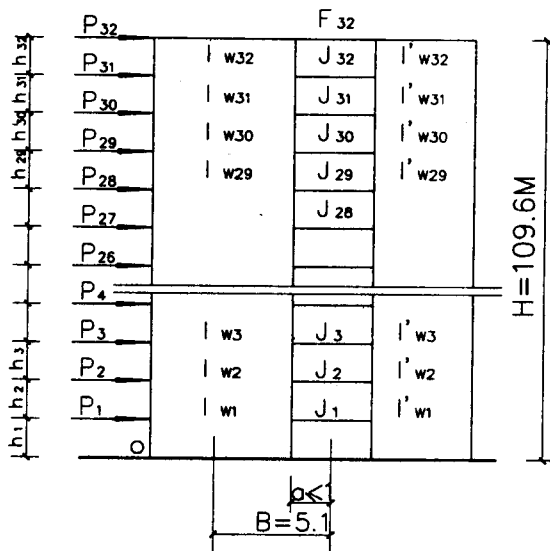


图7 剪力墙结构简图

如上述。如天面加保温层及设顶层伸缩缝,则下层温度应力能大大地减小。

(3) 由于结构一侧升温或降温(东西山墙)使该侧边墙沿垂直方向膨胀或收缩,从而产生内力与位移,其规律是在顶层几层由于端部产生位移较大,则梁板产生较大弯矩及剪力,往下各层梁板弯矩迅速递减,在同一层中则端跨影响大,邻跨影响则迅速递减,剪力墙的轴力则是下层大往上递减。

(4) 计算方法探讨:假设结构物作为多层多跨的带刚壁刚架,按实际边界条件用矩阵位移法求解内力:

$$\{R\} = [K]\{d\}$$

其中 \$\{R\}\$ 为温度引起 \$1 \times 3m\$ (\$m\$ 为节点数) 数的力列向量。\$\{d\}\$ 为 \$1 \times 3m\$ (\$m\$ 为节点数) 数的位移向量(考虑了 \$u, v, \varphi\$)。\$[K]\$ 为 \$3m \times 3m\$ (\$m\$ 为节点数) 劲度矩阵。

经初步测定广州的温差不大,其大概情况如下(设砼凝固温度为 \$26^\circ\text{C}\$,空调温度亦为 \$26^\circ\text{C}\$):夏季计算温差取值为:西山墙外表面为 \$19^\circ\text{C}\$,东山墙外表面为 \$9^\circ\text{C}\$,山墙内表面及各层内墙为 \$4^\circ\text{C}\$,天面外表面结构温度为 \$24^\circ\text{C}\$ (如有保温则按热工计算)。冬季计算温差:山墙内表面、内墙及各楼面为 \$0^\circ\text{C}\$ (考虑空调温度);室外空气计算温差为 \$-22^\circ\text{C}\$,室内空气计算温差为 \$0^\circ\text{C}\$。

温度应力计算是一个较为复杂的问题,如果结构物之间的约束按弹性理论来求解内力及位移,所得结果往往偏大,实际上当结构物在温度影响下产生了若干度裂纹后,此时约束松弛,应力就减小,另外砼产生的收缩应力随施工季节不同而异,严格地说各节点之间的原始约束状态是有差别的,所以我们假设的计算温差虽然经过实测,但也只能是粗略的,至于怎样计算温度应力才能较实际地反映结构物的情况,还有待进一步研究。目前按弹性理论分析温度应力,只能了解一个内力分布规律,按应力分布大小用增加密而小的钢筋以提高钢筋混凝土的延伸率来约束裂纹开展,避免裂纹集中,实践收到了好的效果。

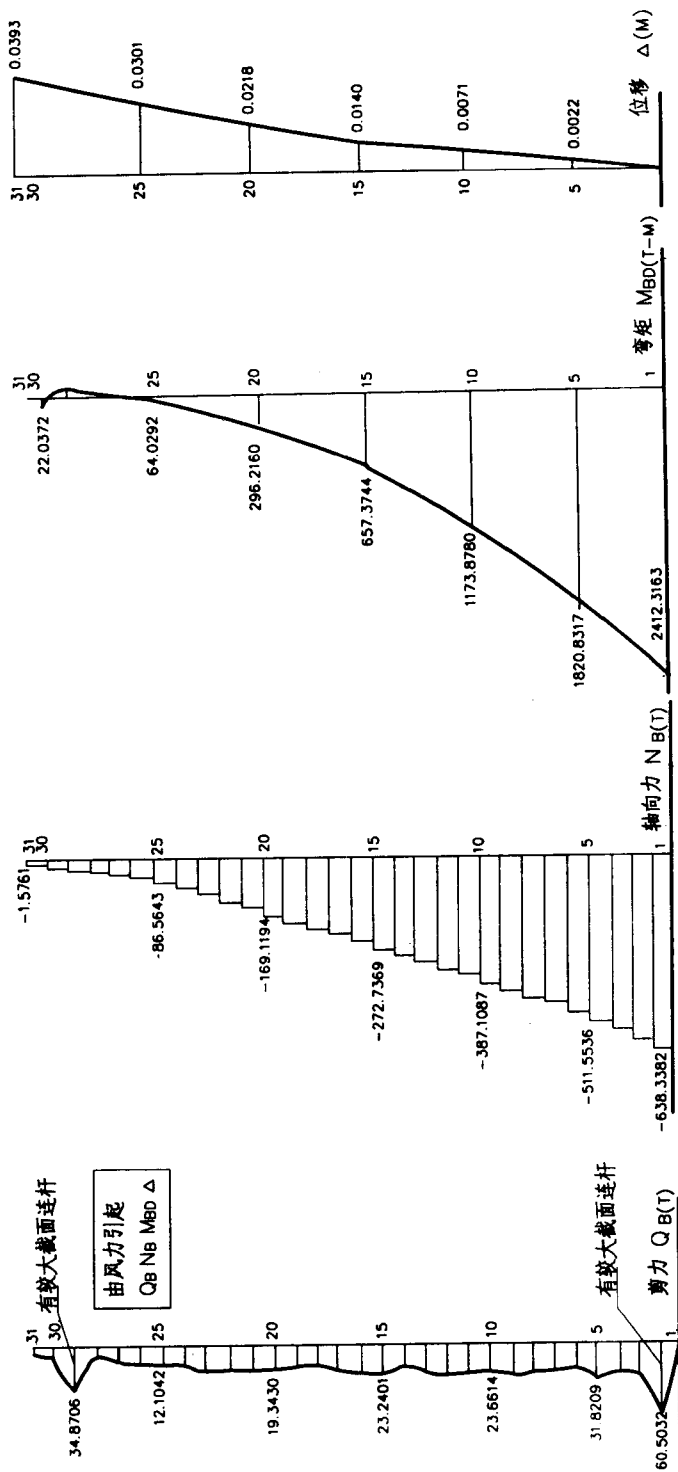


图 8 风力引起的位移值