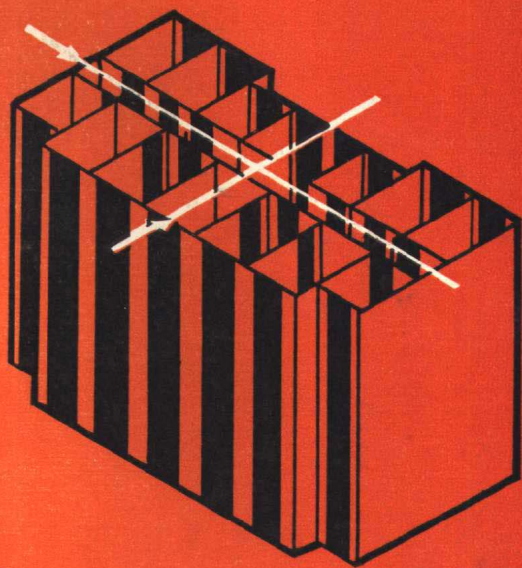


无骨架房屋计算

——应用电子计算机

[苏] В. И. 利沙克 著
谢志国 俞文泰 邢淑华 译
黄金枝 俞文泰 校



中国建筑工业出版社

无 骨 架 房 屋 计 算

——应用电子计算机

[苏] В. И. 利 沙 克 著

谢志国 俞文泰 邢淑华 译

黄金枝 俞文泰 校

中国建筑工程工业出版社

本书着重介绍装配式大板建筑以及砖石、砌块、空间盒子、现浇混凝土等无骨架房屋，在不同荷载（包括风、地震、收缩和徐变）作用下的电子计算机计算特点；深入讨论了按离散杆系图式、连续杆系图式、棱柱壳图式、多格盒子结构图式进行房屋整体计算的方法，以及应用电子计算机技术的数值方法和计算机程序，并对按不同方法求得的计算结果作了对比分析。

本书可供建筑结构工程技术人员和有关大专院校师生参考。

В.И. Лишак
РАСЧЕТ БЕСКАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ
С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭВМ
СТРОЙИЗДАТ МОСКВА
1977

* * *
无 骨 架 房 屋 计 算

——应用电子计算机

谢志国 俞文泰 邢淑华 译

黄 金 枝 俞 文 泰 校

*
中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
河北省固安县印刷厂印刷

*
开本：787×1092毫米 1/32 印张：5 $\frac{1}{2}$ 字数：131 千字

1981年10月第一版 1981年10月第一次印刷

印数：1—4,210册 定价：0.48元

统一书号：15040·4016

译者的话

近年来，随着电子计算机的广泛使用，与使用电子计算机相适应的结构计算理论日趋完善，正在逐步形成结构力学领域的一个重要分支——计算结构力学。

本书着重介绍装配式大板建筑等无骨架房屋的电子计算机计算问题，概括了苏联近年来这方面的科学研究成果，是目前无骨架房屋计算结构力学方面较为完备的著作之一。本书内容丰富，涉及复杂结构整体分析的各种数学模型，与电子计算技术相适应的数值方法，结构体系的优化设计，以及有关的电子计算机程序等等。

了解国外在这些方面的动向、趋势和水平，无论对于开展计算结构力学的理论研究，还是用以分析特定结构的整体受力与动力反应，都是具有相当参考价值的。

译校过程中发现原书印刷出版方面的错误均已改正，不再一一指明。译文不当之处，恳请批评指正。

译者

前 言

大板建筑是居住房屋提高工业化水平，降低造价的一个主要发展方向。由于建筑场地的自然气候条件和工程地质条件各不相同，又由于居住房屋的层数有不断增高的趋向，而且大型板材结构相对来说又比较薄，因此必须考虑各种荷载作用的组合，对大板建筑的强度、刚度和抗裂性进行详细的验算。同时，结构方案的优化也是一个重要课题，这只有在详细的静力计算和经济分析的基础上才有可能得以实现。

初期大板建筑的结构计算，与通常一样，只进行墙板的抗压强度验算（中部截面、水平接缝邻接截面）和楼板的受弯计算。由于大板建筑的层数不断提高，也由于这种建筑在复杂的工程地质条件下（地震区、湿陷性黄土、非均匀压缩性土、新开垦地区）大批兴建，所以必须从单个构件的计算转到进行整幢房屋的整体计算，并且同时考虑结构和地基的相互作用。已经研究过多种方法，可以不必利用电子计算机就能估计房屋的空间刚度，并能近似确定结构在各种不均匀地基变形和不同水平荷载（风荷载、地震荷载）作用下的应力-应变状态。这些方法已经在《大型板材居住房屋结构设计规程》CH321-65[9]和其它一系列规范性质的文件中得到反映。

随着电子计算机在科研、设计单位的普及推广，已经有可能转而研究自动化的计算方法。从而出现了考虑变形的物理特性来计算复杂空间体系的可能性。

近十年来，深入研究了大量适用于大型板材房屋和其它全装配式房屋的计算方法。其中，一部分是以建筑力学、弹性理论的经典方法为基础，而另一部分则是比较新颖的，例如组合杆计算理论、棱柱壳计算理论等。此外，还提出了全新的，类似于多格盒子结构的计算图式，并正在制定计算方法。

计算图式和计算方法之所以会有那样繁多的种类，是由于不论哪一种方法都有其一定的适用范围。而这些适用范围又取决于方法本身所依据的不同假定。一种方法采用的假定越少，那末这种方法的适用范围就越广，但是与此同时，计算工作量也就越大。因此，对于实际计算很自然倾向于采用简化的近似方法。计算技术的发展为向比较精确的计算方法过渡创造了条件。但是，当前还必须考虑到如何减少问题的未知数，考虑到如何减少上机计算的时间。此外，计算图式的复杂化会使未知数增多，这样就有可能在求解大型代数方程组和大型微分方程组时，由于不可避免的舍入误差而严重影响精度。

究竟选择哪一种计算方法，则是与房屋的层数、结构方案、外部作用的大小等因素有关的。

由于对无骨架房屋的计算方法已经研究得相当深入，也由于计算方法本身的特殊性，这些方法总起来可以看成是建筑力学中的一个独立的分支。而本书收集的材料，在某种意义上可以看成是无骨架房屋建筑力学分支的一个导言报告。

本书旨在系统介绍无骨架房屋的各种计算方法，并指明这些方法的适用范围。侧重于最适合结构计算自动化特点并在实践中已得到广泛应用的几种方法。

本书是以作者本人在中央居住建筑标准设计和实验性设

计研究院 (ЦНИИЭП жилища) 结构体系试验室所进行的研究工作为基础写成的。研究过程中曾经得到中央建筑结构研究所 (ЦНИИСК)、地基与地下建筑研究所 (НИИ оснований и подземных сооружений)、莫斯科建筑工程学院 (МИСИ)、莫斯科实验性设计研究所 (МНИИТЭП)、国立标准设计与技术试验研究所 (Гипротис)、基辅实验性设计研究所 (КиевЗНИИЭП)、列宁格勒实验性设计研究所 (ЛенЗНИИЭП) 等单位许多专家的大力协作。

目 录

译者的话

前言

第一章	结构体系和计算图式	(1)
§ 1	居住房屋的结构方案, 技术术语	(1)
§ 2	多层房屋的结构体系	(5)
§ 3	无骨架房屋的计算图式	(16)
第二章	应用弹性理论方法进行无骨架房屋的结构 计算	(26)
§ 4	前提条件与计算假定	(26)
§ 5	计算弹性体系的变分原理	(30)
§ 6	直接变分法	(36)
§ 7	符拉索夫——冈托洛维奇法	(41)
§ 8	网格法	(46)
§ 9	有限单元法	(48)
第三章	按照空间杆系图式和棱柱壳图式进行无骨 架房屋的结构计算	(54)
§ 10	杆件计算中采用的假定	(54)
§ 11	任意截面薄壁短杆的计算理论	(59)
§ 12	按混合法计算空间块体	(73)
§ 13	按力法计算空间块体	(85)
§ 14	系杆刚度对结构空间工作的影响	(90)
§ 15	按照组合棱柱壳计算空间块体	(93)
§ 16	不考虑杆件剪切变形进行组合空间杆系的计算	(95)

§ 17	纵向系杆的柔度计算	(100)
第四章	按照平面杆系图式进行无骨架房屋的结构 计算	(106)
§ 18	不考虑杆件剪切变形进行平面组合杆的计算	(106)
§ 19	考虑杆件剪切变形进行平面组合杆的计算	(109)
§ 20	水平荷载作用下剪切变形对墙体共同工作的 影响	(117)
§ 21	离散系杆杆件体系的计算	(119)
§ 22	离散系杆和连续系杆杆系计算结果的对比	(122)
第五章	按照板系图式进行无骨架房屋的结构 计算	(125)
§ 23	按照板系图式进行房屋计算的假定	(125)
§ 24	按照离散系杆板系图式进行房屋计算	(128)
第六章	板材墙体的计算特点	(132)
§ 25	考虑收缩徐变影响确定板材墙体的内力	(132)
§ 26	考虑墙板支承面的局部嵌固作用	(148)
§ 27	板材房屋承重墙的优化问题	(157)
结束语		(167)
参考文献		(170)

第一章 结构体系和计算图式

§1 居住房屋的结构方案，技术术语

居住房屋是规模最大的建设项目，实际上可能在各种不同的自然气候条件和工程地质条件下建造，也可能采用各种不同的建筑材料和各种不同的施工方法。建造条件的多样性，决定了居住房屋结构方案的多样性。

房屋结构方案包括承重结构和围护结构的全部特征，即包括结构体系、结构布局、施工方法、以及主要结构构件的材料等等。

在各种技术文献里，“结构体系”这一术语往往被用来表示各不相同的概念。参考文献[8]将房屋总的结构特征称为结构体系，其实确切一些应该称为“结构方案”。有时，施工方法不同的方案（例如，板材、砌块、大模板现浇混凝土等等）也被当作不同的结构体系。在参考文献[7]里，是将由垂直构件和水平构件组成的，保证房屋受力和稳定性的空间承重骨架称为房屋的结构体系。这种解释是比较确切的。

以下拟将荷载传递方式不同、主要构件型式不同，而又互相联接在一起的房屋结构构件的总体称为结构体系。

房屋结构有承重和非承重之分。这种划分很大程度上是人为约定的，因为所有的结构都会或多或少地起一点承重作用。即使是镶在窗上的玻璃也会参与房屋的受力，它承受风

荷载并把风荷载通过窗框传递到墙上去。因此，从某种意义上说，窗玻璃也是一种承重结构。但是，很明显，诸如挂墙板、非整体楼盖的地面、以及窗玻璃等这样的构件，只是把局部荷载传递给主要承重结构，它们并不保证房屋的空间刚度和整体稳定性。象这样的构件将称之为非承重构件。

承重结构本身又有主要构件和次要构件之分。主要构件保证房屋的空间刚度和稳定性，承受并传递主要的外力作用，对于居住房屋主要是垂直荷载和水平荷载（风荷载、地震荷载）。次要构件则是承受并传递次要的外力作用（温湿度的影响、地基不均匀变形的影响等等）。

提到房屋的施工方法和主要构件的材料时，本文将采用《房屋结构类别》中规定的有关技术术语。按照结构类型，现代的居住房屋可以分为木结构、砖结构、砌块（小型砌块和大型砌块）结构、板材结构、以及现浇混凝土空间块体结构（即盒子结构）等。当然也还有混合的结构型式，例如板材、砌块结构等等。

城市建筑中，居住房屋约有50%是大型板材结构，另外50%则是砖石结构和砌块结构。其它类型的结构目前还用得很少。然而，全装配式房屋（大型板材房屋）所占的比重仍在不断增加，这是当前的一种趋向。许多地区，特别是南方地震区，则正在发展整体现浇混凝土房屋。

不同结构类型的房屋往往会有同样的结构体系。带纵、横承重墙的多格结构体系就应用得相当广泛。按照这种体系设计了砖石、砌块、板材和其它类型的房屋（图1）。正是结构体系的一致性，决定了这些不同结构类型的房屋在受力方面的同一性。

每一种结构类型只能采用几种特定的结构体系。例如，

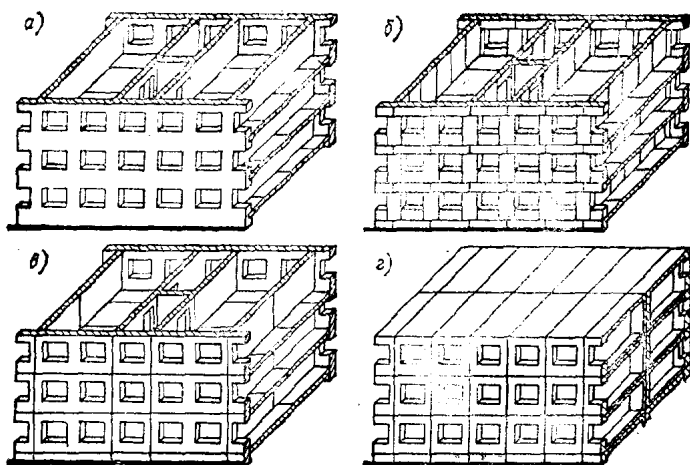


图 1 多格结构体系在不同类型房屋中的应用

a—砖结构及现浇混凝土结构；b—砌块结构；c—板材结构；d—盒子结构

用滑模施工的整体式混凝土房屋，一般只有骨架-井筒体系和多格体系；而板材房屋一般只有平板体系和多格体系等等。

房屋的结构平面布置方案决定着主要结构构件布置的几何形式。根据竖向承重结构的平面布置有正交和非正交之分。两者在图形上各自又有紧凑形、带形、和多枝形之分（图2）。

平面长宽比不超过2:1的房屋属于紧凑形图式。这类房屋的楼板保证房屋横向周边的平面不变性（盒子结构房屋例外），因此在计算紧凑布置图式的房屋时，可采用起水平刚性隔板作用的层间楼盖为无限刚的假定。

平面上一个方向很长，由一个或几个依次互相连接的单体组成的图式称为带形图式。

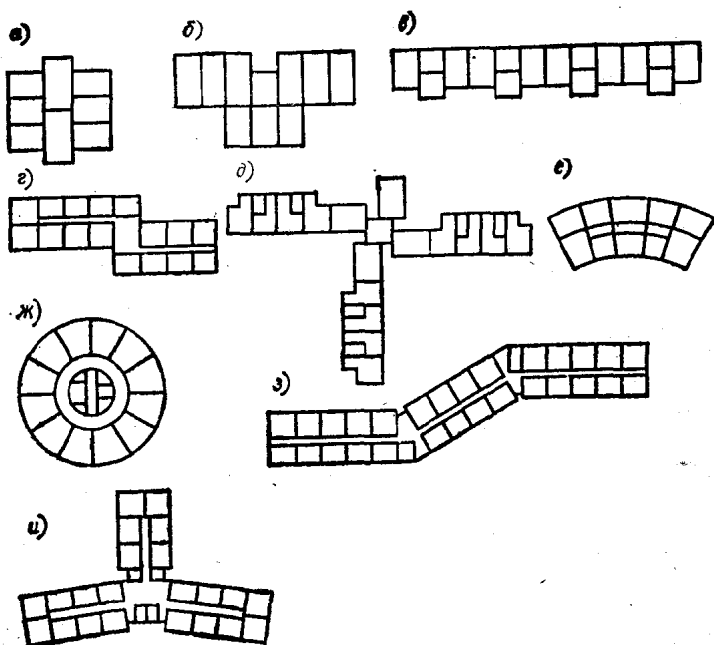


图 2 居住建筑的结构平面布置

(a—d)正交图式；(e—u)非正交图式；a, b, c, e, k—紧凑形图式；
e, i, s—带形图式；d, u—多枝形图式

在一个接点上连接两个以上单体的图式称为多枝形图式。

我们将非正交图式分为两种，计算时可以利用这种特点。第一种图式由一些各自都是正交的图式任意组合而成（见图2, s, u），第二种图式则是轴对称图式（见图2, k）。

第一种图式的房屋可以分两步进行计算：首先计算单位荷载或单位位移下的每个正交的单体；然后利用第一步求得的各单体位移或单体支座反力计算整个体系。因为正交图式

的计算比非正交图式简单易行，采用分两步的方法可以简化计算。

计算轴对称的房屋时，为描述体系的几何特征，以采用极坐标并考虑各区段的周期性为好。

房屋的结构类型、结构体系和结构平面布置是各个计算阶段都必须考虑的。房屋的结构类型决定了结构变形的物理规律，因此在计算体系单个构件的刚度特性时，以及验算强度、刚度和抗裂性时，都必须首先予以考虑。结构体系决定了承重结构在受力上的相互关系，对于计算图式、计算方法的选择是具有决定意义的。结构平面布置决定了所计算体系的几何形状，并在一定程度上影响计算方法的选择。

§ 2 多层房屋的结构体系

1971年在莫斯科召开的第一次国际“多层房屋”讨论会，建议将9层以上的房屋称为多层房屋。并按其层数和高度分为四类：第Ⅰ类9~16层（50米以下）；第Ⅱ类17~25层（75米以下）；第Ⅲ类26~40层（100米以下）；第Ⅳ类是40层以上（100米以上）的超高层房屋。

对于多层房屋（高度40米以下的除外），应该考虑风荷载的动力分量、验算因风荷载脉动作用引起的房屋受迫振动加速度的大小。对于超高层房屋还必须验算其整体稳定性，并按变形后的图式进行垂直荷载、水平荷载共同作用下的计算（在许多情况下，高层房屋、甚至中高层房屋也都要求进行整体稳定性验算）。

因为还没有形成专门的技术术语，加之兼具几个体系特点的过渡形式名目繁多，多层房屋结构体系的分类是比较困难的。

参考文献[2、3、4、5、7、8]给出了有关结构体系分类的建议。

对多层房屋各种结构体系的分类表明，可以分成四种竖向承重结构型式原则上不同的基本体系。从这四种基本体系又可以通过承重结构的不同组合形成各种派生体系。基本体系可以形象地比作原子，由少数几种原子形成各种各样的分子。基本体系和派生体系都可以有各种改型，这些改型称之为子体系。

我们把下述体系列为基本体系（图3）：骨架体系，平面剪力墙体系，井筒体系，薄壳体系。

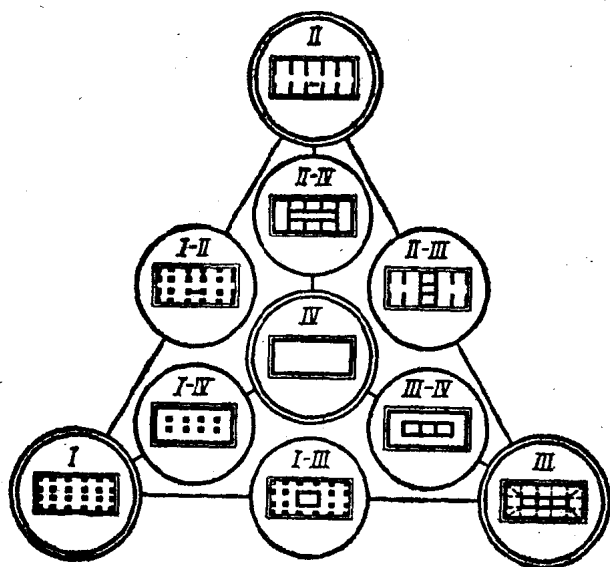


图3 多层房屋结构体系的分类

基本体系：I—骨架体系；II—平面剪力墙体系；III—井筒体系；IV—薄壳体系。派生体系：I-II—骨架-剪力墙体系；I-III—骨架-井筒体系；I-IV—骨架-薄壳体系；II-III—剪力墙-井筒体系；II-IV—多格体系；III-IV—井筒-薄壳体系

房屋的竖向承重结构，在第Ⅰ种体系里是空间框架；在第Ⅱ种体系里是横向或纵向的承重墙；在第Ⅲ种体系里是设在房屋内部支承所有其它结构的内部支柱（井筒）；在第Ⅳ种体系里是沿外墙布置的承重结构。

基本体系：

1. 骨架体系（图4）——主要用于水平荷载不太大的低层和中高层的公共建筑与生产性建筑。抗震建筑是采用骨架体系的特殊领域，因为这种体系的刚度不大，可以减小地震荷载。

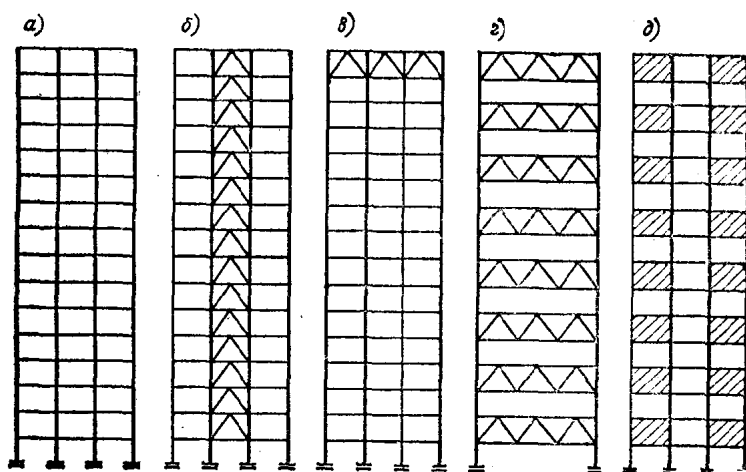


图4 骨架体系

a—无系杆体系；б—带竖向系杆的体系；в、г—带水平系杆的体系；
д—框架-平板体系

骨架体系中最重要部件是连接立柱和横梁的节点。为保证房屋在水平荷载作用下的刚度和稳定性，所有的节点都应该是刚性的。为了提高框架的刚度，往往利用斜撑式的系

杆，将框架的一些节点联在一起。斜撑与节点的连接一般都认为是铰接的。斜撑与框架的杆件在一起形成桁架式的格构（图46, a），其弦杆是骨架的立柱或横梁。带格构式系杆的骨架体系，其系杆可以竖向布置，也可以是水平布置的。在第一种情况下，房屋的刚度和稳定性系由框架和嵌固在地基中的桁架共同工作形成，水平荷载主要由桁架承受，从而可以减小框架节点上的弯矩，并使其沿房屋高度方向保持均衡。

水平系杆可以沿房屋高度在一处或几处布置。这种系杆往往布置在房屋的顶部（图4, e），作为承载平台，重新分配水平荷载作用下骨架各立柱之间的轴向力。而隔层布置系杆（图4, e）可以增大骨架的柱距，因为由斜撑成对连接在一起的横梁，这时构成了高度等于层高的刚性桁架。

骨架体系还有一种改型——框架-平板体系，是由杆件单元（立柱、横梁）和矩形薄板（平板）组合而成的，杆件与平板相互固接（图4, d）。将平板嵌入框架体系，可以提高框架的刚度，并改善其承受水平荷载的条件。

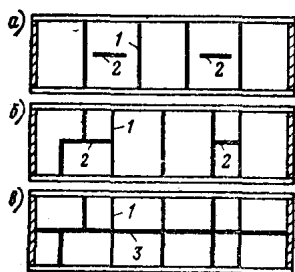


图5 带竖向刚性隔板的平面剪力墙体系

a—矩形平面布置；b—非矩形平面布置；c—内纵墙贯通布置

1—承重横墙；2—刚性隔板；3—纵墙

性隔板的作用（图5）。

2. 平面剪力墙体系——

平行布置的墙体是竖向承重结构，楼板直接支承在这些承重墙上，这些楼板则主要象梁一样受力。一般都是以横墙为承重墙。垂直于承重墙方向房屋的稳定性是由竖向刚性隔板来保证的。横墙承重的房屋中，部分内纵墙就起着这种竖向刚性隔板的作用（图5）。