

装配式多层房屋的 空间工作

A. C. 卡尔曼諾克 著



建筑工程出版社

裝配式多層房屋的空間工作

陳 以 洪 譯

建築工程出版社出版

• 1958 •

內容提要 本書研究多層房屋空間框架和豎向加勁隔板受水平風載作用的靜定計算近似方法，這些方法可在設計預制板牆、磚牆和大型砌塊牆的大型預制板房屋時，以及設計高層一般結構的磚石房屋時應用。

本書供工程師、設計人員和科學工作者使用。

原本說明

書 名 ПРОСТРАНСТВЕННАЯ РАБОТА СБОРНЫХ
МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ

著 者 А.С. Калманок

出版者 Государственное издательство литературы по
строительству и архитектуре

出版地点 及 年 份 Москва—1956

裝配式多層房屋的空間工作

陳以洪 譯

*

建筑工程出版社出版(北京市阜成門外大街)

(北京市書刊出版業營業許可證出字第 052 号)

建筑工程出版社印刷廠印刷·新華書店發行

書号 790 64 千字 850×1168 $\frac{1}{32}$ 開本 2 $\frac{3}{4}$

1958 年 6 月第 1 版

1958 年 6 月第 1 次印刷

印數: 1—1,945 册

定價 (10) 0.55 元

目 录

前 言	4
第一章 多层房屋空間框架靜定計算的基本問題	5
第一节 现代型式多层居住房屋和公共房屋結構靜定工 作的特点	5
第二节 計算多层房屋空間框架問題的提法	10
第二章 悬臂梁平面受弯的計算	17
第三节 梁弯曲的基本技术理論	17
第四节 大高度悬臂梁弯曲問題的近似解算	26
第三章 墙被門窗洞减弱的計算	39
第五节 墙被規則布置的門窗洞减弱的近似計算方法	39
第六节 被門窗洞减弱的加勁隔板的計算	49
第七节 被門窗洞减弱的外墙的計算	66
第四章 多层居住房屋和公共房屋空間框架的計算	74
第八节 第二类多层房屋空間框架的計算	74
第九节 第一类多层房屋空間框架的計算	81

前 言

在設計現代型式的多層居住房屋和公共房屋（尤其是大型預制板房屋）時，會產生一系列問題，只有在研究組成這種房屋“框架”的各個構件空間工作的基礎上，才可能正確解決這些問題。但是，考慮多層房屋這種空間工作的靜定計算方法，還研究得不够。

本書是作者在蘇聯建築科學院建築技術科學研究所1953～1954年間所進行的研究的結果，其目的是試圖擬出一些解算多層房屋靜定計算問題的途徑。本書只研究一些這一方面的某些問題。這一些問題就是被門窗洞減弱的加勁隔板受風載的計算和外牆（作為多層房屋空間框架的一個構件）工作的研究。

這些問題是用與超靜定杆系建築力學方法相類似的方法進行解算，因而就簡化了所建議的多層房屋空間框架靜定計算的方法。

本書不研究骨架預制板房屋剛構連杆骨架受風載作用的空間工作問題，因為這些問題的解算方法與本書中所述的方法不同。

第一章 多層房屋空間框架靜定計算 的基本問題

第一节 現代型式多层居住房屋和公共 房屋結構靜定工作的特点

进一步发展苏联的建設事业,就要求广泛采用装配式結構和将大部分的工作自施工现场轉移到工厂,以便使主要的最繁重的工作过程机械化。这时,施工现场基本上就变为安装场地。

为了完成上述的任务,就有必要重新审查早先所采用的居住房屋和公共房屋的一般建筑平面布置方案和結構方案。

与解决建筑平面布置問題方面有关的一些主要建議,导使建筑物的层数增多,例如,象在莫斯科就增高到 8~10 层,在个别情况下竟达14层。無論是为了在一个单元內建造二个楼梯間以保証防火安全,或是为了降低电梯設備的造价,这都引起了增大住宅标准单元面积的必要。例如,莫斯科的标准居住单元的长度达50公尺和50公尺以上。图 1 和图 2 为两个这种典型的标准单元平面图。

在結構方面,新的方案,首先要求房屋結構所有构件包括基础、地下室的墙和屋面都能装配,其次要求所有这些构件的重量,特别是房屋外墙的重量要尽量減輕。

层数多的装配式多层房屋的主要結構图,一般都采用装配式鋼筋混凝土骨架的形式,当为承重墙时,不全部是骨架,而当为自承重墙或骨架墙时,則全部是骨架。这时預制板墙的結構,由于承重和保温作用分开,通常都是最輕的。在这种情况下,墙板結構的承重部分为輕型鋼筋混凝土壳体,一般其內面用强度很小的有效保温材料飾面。

在这样的結構方案下,目前采取的不,是把水平(风)荷載傳遞于骨架的剛架上,而是把骨架取为連杆結構,利用特殊的加勁薄板

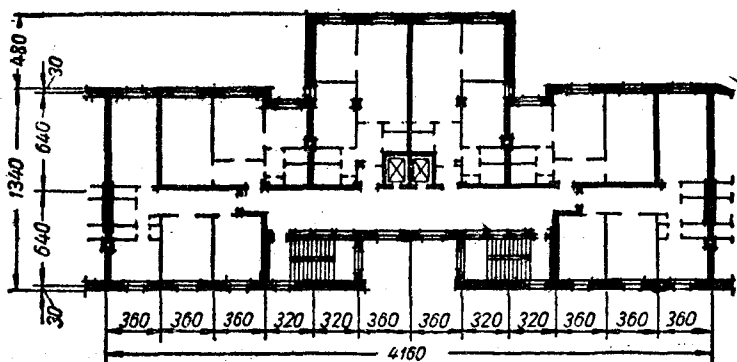


图 1

作为连杆构件。这些加劲薄板就是竖向隔板，它与层间楼板的水平加劲隔板共同承受全部的水平荷载，并将这些荷载传给地基上。

这种多层房屋是一种相当复杂的工程结构，它需要根据现代结构力学的方法计算强度和变形。

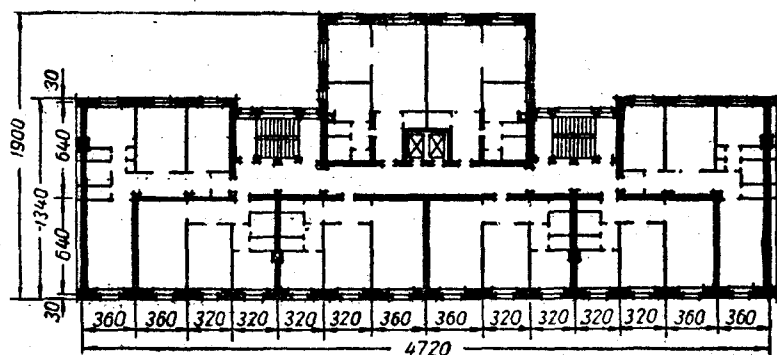


图 2

上述这些要求也适用于无骨架或部分骨架的砖墙和大型砌块墙的装配式高层房屋。

旧结构的多层房屋都是用基本方法计算的，这种方法主要是按照中心受压并近似地考虑风载影响来确定下面几层的窗间墙和墙的强度；至于谈到现代多层房屋的空间框架（我们这样来称呼

房屋承受水平荷載作用結構的綜合體),那就應該用較為精確的方法來計算。

多層房屋空間框架的靜定計算,直到目前還未曾引起研究者們的重視,這是因為這種靜定計算對舊結構的居住和民用房屋的實際意義較小。同時這一問題有着許多特點,不同於建築力學教科書中所研究的和建築實踐中所普遍採用的一般問題。

這些特點是由於我們在採用把結構物分成為單個構件的一般方法時,所研究的不是在計算平面體系和空間體系(桁架或剛架)時所遇到的綫形構件,而是研究薄板形平面構件。如把這種平面構件作為綫形構件,則在很多情況下只可視作初步近似的,有時則會引起很大的誤差,以致削弱了這種計算的結果。因此,對於多層房屋空間框架的靜定計算,應制定一些考慮其結構特點的特殊方法。在很多的情況下,如不引用一些利用彈性理論某些結論的方法,用基本方法是不能解決這些問題的。

但是,只當所研究現象的物理方面符合於使彈性理論成立的前提時,採用彈性理論的複雜繁瑣的數學演算才有意義。在我們的情況下,完全不是這樣。事實上,只能象在初步近似中把實際制成多層房屋空間框架構件的材料視為符合於虎克定律的彈性材料加以研究。此外,在我們所了解的作用在房屋上的計算荷載值、房屋構件在土壤中固定端面的邊界條件,以及其他原始資料等的精確性也常常是不高的。

所有這些原因都不能使我們認為,根據彈性理論的計算方法來研究多層房屋空間框架的計算問題,比依據梁彎曲技術理論制定的有充分根據的近似方法更為適宜。事實上,在很多情況下,根據這種基本理論粗算在解算中所引起的誤差,不大於材料工作違反虎克定律等所引起的誤差。顯然,在這些情況下,往往在計算工作上花費大量的功夫,力圖求出只在形式上精確的解答是徒勞無益的。

正是在選擇靜定計算方法適當簡化或反之複雜化的問題中,存在着所研究問題的一定複雜性。

順便指出：虽然最近制定了結構物的計算自彈性方法轉变为利用材料塑性性質的所謂按极限状态的計算方法，但为了解算我們所研究范围方面的問題，尽管材料的物理性質用塑性理論的方程式表示較好，我們只能仍以彈性方法作为基础；因为在数学方面有着很大困难，阻碍研究就塑性理論計算多层房屋空間框架的問題。

多层房屋空間框架靜定計算的問題，是不能与处理房屋結構图和各个构件結構問題分开的。

从多层房屋的总的空間工作情况来看，組成房屋空間框架的全部构件可分成三組：层間楼板、加勁隔板和外墙。现在簡短地談一談这三組构件的每一組在承受作用于房屋上的水平荷載时所起的作用。

层間楼板应視為位于外墙上承受水平荷載，并把水平荷載傳遞到豎向加勁隔板上的梁式构件上。当层間楼板平面內抗弯刚度較大时（按照一定的結構要求），可假定該楼板为絕對刚性的，这样，就可以認為多层房屋空間框架的截面外形，变形时在平面上是不变的。

加勁隔板可視為承受由层間楼板傳來水平荷載，并把这些荷載傳遞于地基上的梁式主要构件。因此，按其計算簡图，这些隔板就是嵌固在地基中的豎向悬臂梁；一般說来，这种嵌固應該認為是彈性的。

外墙作为多层房屋空間框架的构件，能起两种作用。第一，它是直接承受风載，并把这些荷載傳遞于层間楼板的水平加勁隔板上的构件；这时外墙在房屋空間框架的工作是次要的。第二，但外墙也可在房屋空間框架的工作中起主要作用，与加勁隔板共同工作，作为多連杆封閉截面的統一悬臂梁。因此，多层房屋的空間框架按其結構处理可分为二类。

第一类的空間框架是由房屋的共同受力的縱墙和橫墙所形成，并且又是一个刚性联系的封閉框架。这样的結構方案，是砖墙和部分大型砌块墙多层房屋的鮮明特征，因为这类房屋通常都有

相当数量的刚性横墙。当这些横墙与外墙结点结构处理得当时，外墙也参加承受水平荷载的总的空间工作，因此就保证了问题的解算非常简单。但是，在设计大型砌块的多层房屋实践中，往往还遇到上述结点采用柔性连杆结构方案。当然，从保证房屋的空间刚度方面来看，这类结构不能认为是完全令人满意的。

在第二类的空间框架中，刚性连杆结构是与房屋纵墙分开的、单独竖立的加劲隔板。采用这类简图，是由于内外预制板墙与骨架的刚性联系结构处理上的某些困难所致，同时也是预制板墙的多层房屋，也部分是大型砌块多层房屋的特征。

在现代的设计实践中，往往也遇到将骨架设计成连杆的竖向加劲隔板及有能够承受某些水平荷载刚性结点刚架形式的骨架预制板房屋方案。这时假定：水平荷载只由竖向加劲隔板承受，而竖向荷载只由骨架的刚架承受。但是，这一假定是没有任何根据的。这种刚构连杆骨架中每一构件所承受的总的水平荷载部分，应专门计算求得。由于所述及的这一問題已超越出了本书的范围，所以我们对此一問題不再加阐述。显然，第一类的空间框架的静定计算较第二类的空间框架的静定计算要复杂得多。

外部荷载和对多层房屋空间框架应进行静定计算的其他因素，按其对于房屋的作用性质，可以分为四组。

第一组包括竖向的恒载和活载（有效荷载）。计算受这类荷载的装配式多层房屋空间框架的构件没有任何特点，故本书不再论述。

本书着重论述多层房屋空间框架及其构件受第二组荷载——水平荷载——作用的静定计算问题。一般情况下，这种荷载就是风载，但在苏联的某些地区中，这种荷载中也包括地震荷载。

必须指出，虽然按照标准，风载是随高度的不同而按梯形图表示的一种规律变化的，但在工程计算中可将风载视为是沿房屋全高均匀分布的。计算强度时，计算风载的集度应以由标准的和等效的计算荷载而产生的最大弯矩值相等的条件确定，因此就使得在求算加劲隔板中的剪应力时，得到了某些安全系数。

地震荷載通常是較風載大很多，因此在这种情形下就是对于层数不多的房屋來說計算空間框架的問題也具有極其重要的意义。由于在苏联地震区內的許多大城市中建造了大量的居住和民用建筑，多层房屋空間框架靜定計算的問題就具有了更为重要的实际意义。

第三組包括与建筑地区工程地質条件有关的影响。此时，計算多层房屋空間框架地基不均匀沉陷問題是头等重要的問題（例如，在进行地下开采的地区內），这一問題甚至对低层房屋（包括单层房屋）也具有重要的意义。虽然根据本書所制定的方法也可以找出解算这一問題的方法，但是在本書中对这一問題不作專門論述。

順便應該指出，房屋下弹性地基的变形是計算房屋空間框架及其組成构件时的一个极为重要的因素，因为这些构件的靜定工作在很大程度上是与弹性地基的特征有关。若不考虑这一因素，則研究装配式多层房屋空間工作的結果，就不可能正确。

作用在多层房屋空間框架上的第四組影响中，應該包括温度的影响，尤其是框架构件的不均匀受热的影响。本書对这一問題也不加論述。

因此，本書所研究的主要問題，是整个多层房屋空間框架和主要承受水平风載并考虑地基弹性性質的框架各个組成构件的靜定計算問題。与多层房屋空間框架靜定計算有关的其他諸問題，只是順便闡述一下。

第二节 計算多层房屋空間框架問題的提法

在計算多层房屋空間框架时，我們將遵循建筑力学中大家所熟悉的方法，即把所研究的体系分成各个构件，其中每一构件都单独加以研究。根据所有各个构件共同工作的条件即可获得該問題的完全解算。这些条件就是結点的平衡条件和构件在互相接触綫上变形一致的条件。

这些构件的鮮明特点是：它們是一些大高度的平面梁。但在

很多情形下，它們的高度要比跨度的數值小很多，因此在計算這些構件時就可以採用根據平截面假說為基礎的梁彎曲的基本技術理論。這種梁的計算方法在第二章中論述。所以必須用比一般較多的篇幅敘述這一理論。

但是存在着下面兩個重要的因素，這兩個因素在大多數的情形下都阻礙着在計算組成多層房屋空間框架的構件時直接採用上述理論的結果。

第一，有時這些構件幾何尺寸的比值使得在研究構件時不能（即使在初步近似中）利用平截面的假說。為了正確地論述，就必須根據利用彈性理論的精確解算，並將修正值代入各基本解算中。這些修正值可以用所謂減縮係數加以估計。為了確定這些減縮係數的數值，下面來闡述近似變分法，這個方法是以卡氏（Кастильяно）應力狀態可能變化原理及由其導出的變形位能最小值定理作為基礎的。這個方法是建築力學和彈性理論的方法之綜合，在觀念上與В.З. 伏拉索夫^①（Власов）為解算相似的問題所建議的方法相近。

第二，組成多層房屋空間框架的所有豎向構件，通常是被大量規則布置的門窗洞所減弱。這種情況就使這些構件的變形和應力狀態的一般圖形發生顯著畸形，這種畸形的影響絕不是很小的，而在大多數情況下要比前一個因素的影響大得多。

為了考慮房屋的牆被門窗洞所減弱的影響，研究一個解算問題的近似方法，這個方法是以將這種牆視為是由許多杆件-梁組成，杆件-梁間由彈性連杆來連接並以某一個等效剛架為基礎。把單個分開布置的彈性連杆用連續的整塊的連杆來代替，就可得出計算這種體系的極為簡單的方法。這裡可以擬定許多有充分根據的假說，皆能在忽略一些小的數值後可以得到與單層多跨剛架計算方法相類似的問題解算的較為簡單的計算方法。

上面我們曾把多層居住房屋和公共房屋的空間框架根據其結構圖的方案分成二類：第一類，外牆是承受水平荷載（風載）的重要

^① В.З. 伏拉索夫著，薄壁空間體系建築力學，1949年國立建築工程書籍出版社。
該書建築工程出版社有中譯本，1957年出版。

部分;第二类,外墙是起次要作用的。

与計算多层房屋空間框架問題的提法有关的各問題,我們先从較为簡單的,計算第二类空間框架的問題开始研究。

图 3 中示有第二类标准空間 框架示意图,該框架只是由二种构件組成:层間樓板隔板和加劲隔板。这种空間框架的靜定計算,可分成下列二个单独的步驟:求算作用在每一 加劲隔板上的荷載及加劲隔板的靜定計算。

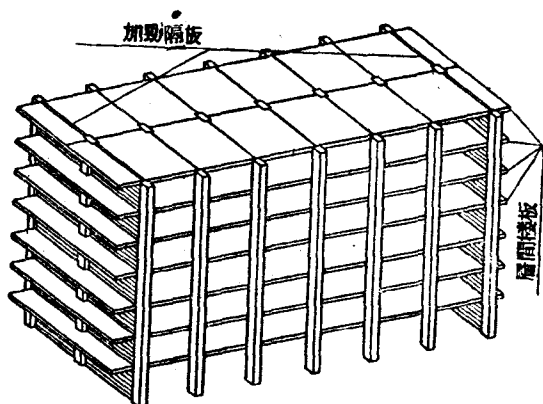


图 3

第一个步驟可用下述的方法解算:設所研究的多层房屋空間框架中含有 K 个加劲隔板。在求算作用在每一隔板上的未知荷載值时,若隔板数量多于二个,除了平衡方程式以外,則应利用变形一致条件。在所研究的情况下,这种条件符合于层間樓板水平隔板平面几何不变性条件。

因一些加劲隔板的受扭可忽略不計,所以對於房屋空間框架水平截面的刚性位移如絕對剛体一样,应写成 $K-2$ 个变形一致条件;这些条件与两个平衡条件(主力和反力的总矢量和总力矩等于零)一起就可以求算出所有 K 个未知荷載。因此,問題的超靜定次数(度)就等于 $K-2$ 。这一問題的解算还与加劲隔板地基的变形有关,同时地基的弹性特征对計算的結果也有很大的影响。

确定出作用在每一个加劲隔板上的荷載值后,就可以进行隔

板的靜定計算。應該注意，在計算作為第二類 多層房屋空間框架構件的加勁隔板時，計算變形性與計算強度幾乎具有同等的重要意義。在這種計算中，地基彈性壓縮的影響極其重要，因此在任何情況下都不應該忽略這種影響。

第一類空間框架的結構由三種構件組成：層間樓板隔板、加勁隔板和外牆。這種標準空間框架示意圖示於圖 4。

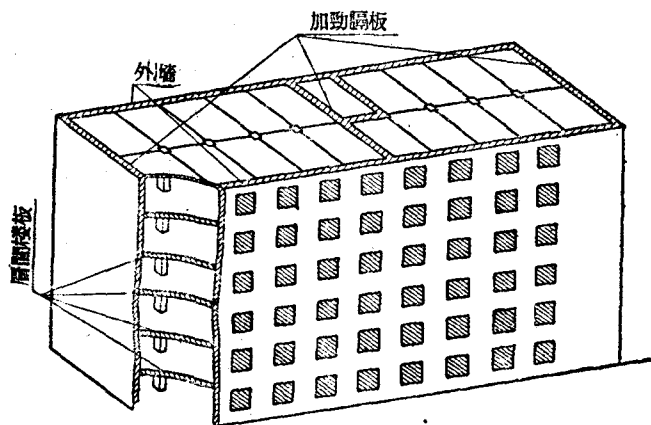


圖 4

在這種情況下，房屋的空間框架可視為是封閉形狀彈性薄壁杆件型式的薄壁折曲空間體系。從這個觀點來看，這種空間框架的計算，是可以利用B.3.伏拉索夫和A.A.烏曼斯基 (Уманский) 所製定的彈性薄壁杆件理論的方法。但是要直接應用這一理論，卻受下列一些情況所妨礙，即組成這些空間框架的大部分構件是被大量門窗洞所減弱，也有些構件具有不适宜採用平截面假說的幾何尺寸。

這類問題，例如在計算船體構架時的船體結構力學中和飛機結構力學中等也能遇到；這時解算是以採用考慮該構件部分參加結構物工作（與其全部參加相比較）的減縮系數為基礎的，所謂全部參加結構物的工作，即該構件符合於平截面定律而沒有過多的柔曲等。

在这种情况下，构件的几何尺寸及其被門窗洞减弱的程度这两个因素影响着减縮系数值的大小。这两个因素中的每个因素都可用下面所述的方法极其精确地估計出来。但是这种解算第一类多层房屋空間框架計算問題的方法是过于繁复的；它只可以在所研究的空間框架橫截面的周边連杆数不超过4时的比較簡單的一些情况下采用，这里講的周边連杆数是由在該周边上不能再分成若干单个部分所作出的断面加上1的最大数目确定的。否則，問題的超靜定次数会大得使它的解算須进行大量的計算。所以，在許多情况下只得采用下列的近似方法，这个近似方法是把所研究的第一类空間框架截面封閉多連杆的周边用一排槽形、工字形或其他类似截面的单个加劲隔板代替。这些截面的翼緣宽度应視為与外墙加劲隔板相邻接的并乘以由相应計算求得的减縮系数的长度部分确定。用这种方法，就使計算第一类多层房屋空間框架的問題变为計算第二类空間框架的問題。

在設計第一类的空間框架时，計算强度具有主要的意义；計算变形性一般只具有次要的意义。

上面曾指出过，計算多层房屋空間框架强度尤其是計算变形性时考慮地基弹性的必要性，否則就不能正确估計所研究結構物的强度和刚度。我們將根据最簡單的温克列尔(Винклер)假說來考慮，空間框架构件(外墙和加劲隔板)下地基的弹性压縮，即用所謂地基系数来表示地基的弹性性質。最近，这一假說受到了批評，并根据弹性理論接觸問題的解算制定了許多考慮地基弹性压縮的新方法。这些方法在計算高层房屋的基础和地基时也获得了实际的应用。

但我們根据下列的一些理由仍旧保留着温克列尔假說。第一，如采用弹性理論的方法来研究我們的問題，既使在运用Б.Н. 热莫奇金^①(Жемочкин)为此目的而建議的較最簡單的方法时也会导

^① Б.Н. 热莫奇金和А.П. 西尼春(Синявцын)著“彈性地基上基礎梁和板不用温克列尔假說的實用計算方法”，1948年，國立建筑工程書籍出版社。該書建筑工程出版社有中譯本，書名為“基礎實用計算法”，1954年出版。

使解算相当繁复。第二，如А.П.菲利波夫^① (филиппов) 和Л.А.加林(Галин)^② 的著作中所証明，对于多层居住房屋的牆所采用的平面很长的条形基础，按弹性理論方法解算的結果非常接近于根据温克列尔假說解算的結果。

在М.М.費洛寧柯-鮑羅第契^③ (филоненко-Бородич)、В.З.伏拉索夫^④ 和П.Л.巴斯捷納克^⑤ (Пастернак)的著作中，曾建議有許多計算弹性地基上基础的近似方法。这些方法引用的假說与温克列尔假說相似，但它不是用一个弹性的地基参数-系数表示，而是用两个数表示，其中一个表示地基受压弹性，另一个表示受剪弹性。利用这些近似方法可以很成功地不加特别复杂的解算就能解算我們所研究范围内的問題。我們由于下面的一个原因而没有采用这些方法：因为目前还没有任何有根据的資料可确定表示地基受剪弹性的后一个参数值。

遺憾的是目前还不能确定出房屋地基中各类土壤的地基系数值。显然，这些数值不仅与土壤的物理性質有关，同时也与其他的原因，首先是压力的面积和把压力傳到地基上的条形基础的宽度有关。若压力面积增大，地基系数則减小，因此，在宽基础情况下系数值应取之小于窄基础情况下的数值。在实际計算时，可以采

对于軟弱土壤.....1~3公斤/立方公分

对于中等土壤.....3~7公斤/立方公分

对于密实土壤.....7~15公斤/立方公分

对于極密实土壤(岩石).....15~30公斤/立方公分

用下列的Н.М.盖尔塞瓦諾夫^⑥(Герсеванов)推荐的地基系数值：

① А.П.菲利波夫著“彈性地基上無限長梁”，“應用力學和數學”，1942年。

② Л.А.加林著“彈性理論的接觸問題”，1952年國立技术理論書籍出版社。

③ М.М.費洛寧柯-鮑羅第契著“彈性地基的几个近似理論”，國立莫斯科大學學習講義，第46期，1940年。

④ В.З.伏拉索夫著“薄壁結構理論的几个新問題”，“工程結構研究論文集”，第一期，1948年國立建筑工程書籍出版社。

⑤ П.Л.巴斯捷納克著，用兩種墊層系数計算彈性基礎新原理，1954年國立建筑工程書籍出版社 該書建筑工程出版社有中譯本，1956年出版。

⑥ Н.М.盖尔塞瓦諾夫著“彈性地基上梁的計算”，“設計人員手冊”，第二卷，計算理論，1934年科学技术書籍出版局。

这些数字中較大的数字应用于宽度小的条形基础，而較小的数字則用于宽度較大的条形基础。

在研究多层房屋空間 框架的构件时，一般不必将其地下部分单独分开。事实上，现代型式的砖墙 和大型砌块墙多层房屋的地下部分通常也是用大型砌块 装配成的，并且其弹性特征也与地上部分大致相同。对于預制板墙房屋，則有时 可以采用地上和地下部分的弹性性質有較显著不同的設計方案。在这种情况下考虑上述情况时，应近似下面所述的情况进行。

在下面的叙述中，我們把弹性理論的基本关系：单元平行六面体平衡方程式、位移与小变形分量之間关系方程式、变形一致方程式、广义虎克定律方程式等 视为是已知的。这时我們將采用下列的符号：

$\sigma_x(\sigma_y), \sigma_z$ 和 τ ——应力状态的分量；

$\epsilon_x(\epsilon_y), \epsilon_z$ 和 r ——小变形的分量；

uv 和 w ——座标軸上位移的分力；

E, G 和 μ ——弹性模量、受剪模量和柏桑比；

C ——地基的地基系数；

V ——变形的位能。

在所有的情况下，我們使座标平面 xy 和房屋的地基平面相重合， z 軸的方向向上；并且采用无单位的座标：

$$\xi = \frac{x}{a}, \eta = \frac{y}{b}, \zeta = \frac{z}{H},$$

式中 H ——所研究的房屋空間 框架的高度；

a 和 b ——框架各构件的截面高度。

其余的符号，将在各章中分別說明。