

第1章

PKPM系列程序简介



本章要点、学习目标及思政要求

本章要点

- (1) PKPM 结构设计的基本步骤。
- (2) PKPM 结构设计程序模块。
- (3) PKPM 结构设计软件联系网络。

学习目标

了解 PKPM 结构设计的基本步骤和各程序模块的适用范围,掌握 PKPM 设计软件的联系网络。

思政要求

激发学生的学习积极性,培养学生的专业自豪感和社会责任感。养成实事求是、一丝不苟的科学态度,树立诚信为本、开拓进取、为国奉献的思想品质。

PKPM 2021 版结构设计软件 V1.2 系列程序,包括 SATWE 核心的集成设计、PMSAP 核心的集成设计、Spas+PMSAP 的集成设计、PK 二维设计、数据转换-接口、TCAD、拼图和工具,主要用于混凝土结构设计、砌体结构设计、钢结构设计、减隔震设计、施工图审查、鉴定加固设计、预应力结构设计及基础工程的设计。

PKPM 程序中结构设计分三步进行:①设计数据输入;②结构计算及计算结果输出;③施工图绘制。

1.1 PKPM 结构设计的基本步骤

1.1.1 设计数据输入

设计参数包括组成结构的几何数据、结构标准层所受荷载信息、结构标准层其他信息、楼层组装信息。

- (1) 组成结构的几何数据。定位网格线(轴线)、梁、柱、承重墙、斜支撑的截面尺寸及布

置等。

(2) 结构标准层所受荷载信息。此信息有楼板恒荷载标准值、活荷载标准值、梁间荷载标准值、柱间荷载标准值、节点荷载标准值等。

(3) 结构标准层其他信息。此信息有结构总信息、地震作用信息、风荷载信息、绘图信息等。

(4) 楼层组装信息。对结构标准层进行层高定义、楼层复制与组装,最终形成整楼模型。

1.1.2 结构计算及计算结果输出

计算结果包括结构内力、位移及其他有关的数据、结构的配筋、轴压比、变形及裂缝宽度等。

1. 结构计算

结构计算主要使用 SATWE 核心的集成设计、PMSAP 核心的集成设计、Spas + PMSAP 的集成设计、PK 二维设计和 JCCAD 等程序模块下的分析计算程序,承接 PMCAD 建立的结构模型,进行结构分析计算,并进行基于计算结果的分析判断操作。

结构计算的主要工作有:

(1) 对设计数据输入的相关信息进行检查,并补充其他相关信息,PKPM 计算程序根据结构的几何信息、荷载信息、其他信息进行荷载组合和结构计算,求解方程组,输出计算结果。计算结果主要包括结构内力信息、变形信息、位移信息、结构构件配筋信息、裂缝信息等。

(2) 对计算结果进行判定,这里主要有两种情况:第一种情况主要是根据分析计算结果来判定是否满足建筑、结构设计规范及其他要求。如满足规范和其他要求则进行结构施工图绘制,否则重复 1.1.1 节设计数据输入,1.1.2 节结构计算及计算结果输出,直到满足设计要求为止。第二种情况是在某些情况下,建筑设计需要进行改动,则结构设计也需要进行相应调整,修改几何信息、荷载信息等相关设计参数,重复进行 1.1.1 节设计数据输入,1.1.2 节结构计算及计算结果输出,直到满足设计要求为止。

2. 结构计算结果输出

(1) 经过计算机软件处理后以图形形式输出,在图上标注各种经过简化的相应数值。

(2) 以数据文件的形式输出各项精确的计算结果。

1.1.3 施工图绘制

完成施工图的绘制、编制修改、文件转换、图形打印、对相关文档进行处理等操作。

1.2 PKPM 结构设计程序模块

PKPM 结构设计软件 2021 版 V1.2 系列程序(单机版)主要包括结构、砌体、钢结构、减隔震、施工图审查、鉴定加固、预应力、工具与工业和 BIM 软件,本教材仅涉及“结构”程序模块。

1.2.1 PMCAD 结构建模

PMCAD 软件采用人机交互方式,引导设计者逐层布置各层楼面和屋面,再输入层高就建立起一套描述建筑物整体结构的数据。PMCAD 具有较强的荷载统计和传导计算功能,除计算结构自重外,还自动完成从楼板到次梁,从次梁到主梁,从主梁到柱或承重墙,再从上部结构传到基础的全部计算,加上局部的外加荷载,PMCAD 可方便地建立整栋建筑结构的荷载数据。

由于建立了整栋建筑的结构数据,PMCAD 成为 PKPM 系列结构设计软件各模块的核心,它为各分析设计模块提供必要的接口。

PMCAD 是三维建筑设计软件 APM 与结构设计 CAD 相连接的必要接口。因此,它在整个系统中起到承前启后的重要作用。

1. 智能交互建立全楼结构模型

智能交互方式引导设计者在屏幕上逐层布置柱、梁、承重墙、洞口、楼板等结构构件,快速搭起全楼的结构模型,输入过程伴有中文菜单及提示,便于设计者反复修改。

2. 自动导算荷载,建立恒、活荷载标准值库

(1) 对于设计者给出的楼面恒荷载标准值、活荷载标准值,程序自动进行楼板到次梁、次梁到框架梁或承重墙的分析计算,所有次梁传到主梁的支座反力、各梁到梁、各梁到节点、各梁到柱传递的力均通过平面交叉梁系计算求得,自动计算次梁、主梁、柱及承重墙的自重。

(2) 引导设计者人机交互地输入或修改各房间楼面荷载、次梁荷载、主梁荷载、墙间荷载、节点荷载及柱间荷载,并方便设计者提供复制、反复修改等功能。

3. 为各种计算模型提供计算所需数据文件

(1) 可指定任一个轴线形成 PK 模块平面杆系计算所需的框架计算数据文件,包括结构立面、恒荷载、活荷载、风荷载的数据。

(2) 可指定任一层平面的任一由次梁或主梁组成的多组连梁,形成 PK 模块按连续梁计算所需的数据文件。

(3) 为空间有限元壳元计算程序 SATWE 提供数据,SATWE 用壳元模型精确计算剪力墙,程序对墙自动划分壳单元并写出 SATWE 数据文件(这部分功能放在 SATWE 中)。

(4) 为特殊多、高层建筑结构分析与设计程序 PMSAP(广义协调墙元模型)提供计算数据(这部分功能放在 PMSAP 模块中)。

4. 为上部结构各绘图 CAD 模块提供结构构件的精确尺寸

如梁柱施工图的截面、跨度、挑梁、次梁、轴线号、偏心等,剪力墙的平面与立面模板尺寸,楼板厚度,楼梯间布置等。

5. 为基础设计 CAD 模块提供布置数据与恒荷载和活荷载

不仅为基础设计 CAD 模块提供底层结构布置与轴线网格布置,还提供上部结构传下

的恒荷载和活荷载。

1.2.2 PK 平面结构设计程序

PK 模块本身包含二维杆系结构的人机交互输入和计算,也可以接 PMCAD 数据形成 PK 数据文件,程序采用二维内力计算模型,可以进行各种规则的和不规则的平面框架、连续梁、排架、框排架结构的内力分析、抗震验算及裂缝宽度计算等。程序还可以处理梁柱正交或斜交、梁错层、铰接梁柱等各种结构连接方式以及任意布置悬挑梁和牛腿,进行各种荷载效应组合和结构施工图的绘制。但 PK 的功能不仅限于 PK 菜单本身显示的内容,程序还可以在 SATWE 三维分析程序计算完成之后,接力绘制梁柱平面施工图、梁柱整体或梁柱分开表示的框架结构施工图。同时,PK 程序也是预应力结构和钢结构二维分析设计的内力计算内核。

1.2.3 SATWE 核心的集成设计

SATWE 是采用空间杆单元模拟梁、柱及支撑等杆件,采用基于壳元模拟凝聚而成的具有较高精度的墙元模型,分析计算剪力墙,适用于多高层结构分析与设计的程序。程序所需的几何信息、荷载信息全部从 PMCAD 模块提取生成,具有墙元和弹性楼板单元自动划分,多塔、错层信息自动生成功能,并能妥善处置上下洞口任意排布、弧墙等复杂情况,大大简化了设计者的操作。程序可完成建筑结构在恒荷载、活荷载、风荷载和地震作用下的内力分析、动力时程分析及荷载效应组合计算,可进行活荷载不利布置计算,并可将上部结构和地下室作为一个整体进行分析,对钢筋混凝土结构可完成截面配筋计算,对钢结构可作截面验算。完成计算后,可经全楼归并接力“混凝土施工图”模块,绘制梁、柱、剪力墙、板、组合楼板和层间板施工图,并可将荷载等信息传递给 JCCAD 程序模块,从而接力完成基础工程设计。程序适用于多高层钢筋混凝土框架、框架-剪力墙、高层钢结构或钢-混凝土混合结构。

1.2.4 PMSAP 核心的集成设计

PMSAP 是独立于其他结构设计程序的多高层结构分析程序。PMSAP 直接对多高层建筑中所出现的各种复杂情形进行分析。

PMSAP 核心的集成设计包含了结构建模(PMCAD+空间标准层)、上部结构分析设计(PMSAP)、基础设计(JCCAD)、楼板设计(SLAB)、弹塑性时程分析(EPDA)、静力推覆分析(PUSH)、结构施工图等模块。

通过 PMCAD 标准层与空间标准层相结合的建模方式,并采用 PMSAP 分析内核,适合于主体为标准层结构,局部出现复杂的结构模型,如建筑物顶部有复杂的造型、钢屋盖、复杂的连廊等。

(1) 采用有限元分析方法,可以适用于任意结构布置形式,所有构件均可在空间位置布置。

(2) 有 20 多种有限元模型。一维单元有等截面和变截面的桁架杆、梁(柱)杆单元;二维单元有三角形及四边形空间壳及任意多边形空间壳(楼板元)、简化模型墙、细分模型墙;三维单元提供 48 自由度的六面体等单元。此外还包括各种集中单元、地基单元等。

(3) 在 PMSAP 中,采用带有最佳协调边界的子结构式墙元,该墙元通过最佳协调技术来满足墙与墙之间的协调性。

(4) 在 PMSAP 中,将厚板转换层结构中的厚板、板柱体系结构中的楼板及一般结构中的楼板进行全楼整体分析和配筋设计。计算考虑了楼层之间、构件之间的耦合作用及地震作用组合的计算方法,具有较高的精度。

(5) 可考虑梁、柱、墙、楼板的自动相互协调细分功能,保证了梁-楼板、墙-楼板、墙-柱之间的变形协调性。

(6) 可考虑梁、柱、墙、楼板等所有类型单元的温度应力分析。

(7) 可考虑整体刚度、分块刚性、完全弹性等多种楼板变形假定方式。

(8) 三维与平面相结合的图形后处理。

1.2.5 Spas+PMSAP 的集成设计软件

Spas+PMSAP 的集成设计包含了空间结构建模与 PMSAP 分析、基础设计(JCCAD)、弹塑性时程分析(EPDA)、静力推覆分析(PUSH)、结构施工图等模块。

Spas 空间结构建模方式,采用 PMSAP 分析内核,适合于空间结构或出现空间斜墙的结构。

设计者在 SPASCAD 中直接建立包含 Z 坐标的三维模型,对于那些层规律不明显的工业建筑、桁架网架、体育馆博物馆等结构形式,有着更高的建模效率。

除了任意建立的几何模型之外,SPASCAD 中还提供了更多的工况及组合,结合 PMSAP 中对复杂空间结构更有针对性的分析选项,对这类结构的分析有着更好的适应性。

1.2.6 STS 软件

STS 软件用于建立多高层钢框架、门式刚架、桁架、支架、排架、框排架等钢结构的二维和三维模型,绘制钢结构施工图纸,与 PMCAD、PMSAP 交叉运用,共享模型数据。通过 SATWE 导入分析数据,返回至 STS 进行节点计算。

1.2.7 混凝土结构施工图

SATWE 或 PMSAP 配筋计算完毕,可接力“混凝土结构施工图”模块,绘制梁、柱、剪力墙、板、组合楼板和层间板施工图,梁、柱及剪力墙施工图中考虑了高层结构的构造要求。

1.2.8 LTCAD 设计软件

LTCAD 设计软件适用于单跑、二跑、三跑等梁式、板式楼梯,螺旋及悬挑等各种异形楼梯。可完成楼梯的内力与配筋计算及施工图绘制,生成楼梯平面图、竖向剖面图和楼梯板、楼梯梁及平台板配筋详图。

LTCAD 可与 PMCAD 连接使用,只需指定楼梯间所在位置并提供楼梯布置数据即可快速成图。

1.2.9 JCCAD 设计软件

JCCAD 可与 PMCAD 接口,读取柱网轴线和底层结构布置数据,以及读取上部结构计算(PK、PMCAD、SATWE)传来的基础荷载,可人机交互布置和修改基础。

JCCAD 可完成柱下独立基础(包括倒锥型、阶梯型、现浇或预制杯口基础,单柱、双柱或多柱基础)、墙下条形基础(包括砖、毛石、钢筋混凝土条基,并可带下卧梁)、弹性地基梁、带肋筏板(梁肋可朝上朝下)、柱下平板、墙下筏板基础、柱下独立桩基承台基础、桩筏基础、单桩基础(包括预制混凝土方桩、圆桩、钢管桩、水下冲钻孔桩、沉管灌注桩、干作业法钻孔灌注桩等),以及上述多种类型基础组合起来的大型混合基础的结构计算、沉降计算和施工图绘制。

1.3 PKPM 结构设计软件联系网络

PKPM 系列程序中用于结构设计的软件联系网络如图 1-1 所示。

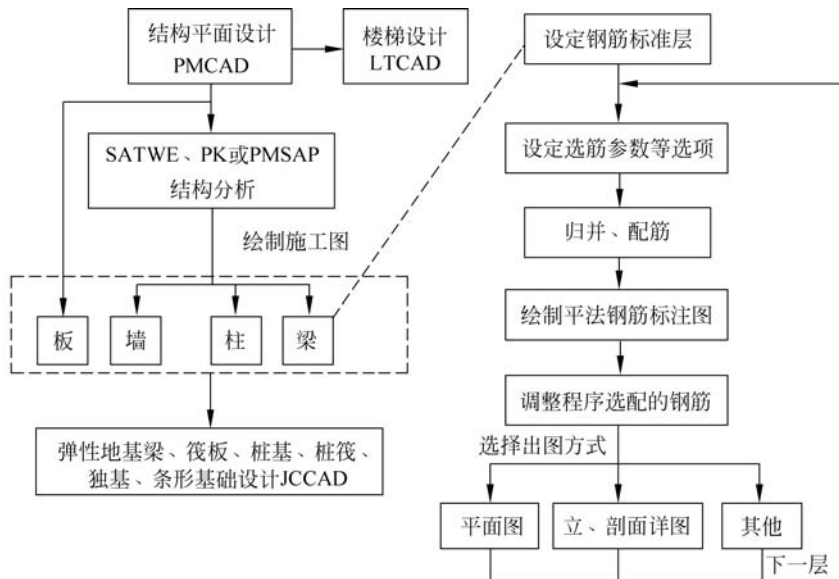


图 1-1 PKPM 系列程序中用于结构设计的软件联系网络

思考题

1. 请说出多层框架结构设计的基本流程及所使用的 PKPM 软件模块。
2. JCCAD 软件可以进行哪几类基础设计?
3. PMCAD 软件与 PK 软件有何不同?
4. 结构的梁、柱、剪力墙自重程序能否自动计算?
5. 梁间荷载、柱间荷载、节点荷载是输入荷载的标准值还是设计值?
6. PMCAD 建模时框架结构的填充墙如何处理?



第2章

建筑结构设计



本章要点、学习目标及思政要求

本章要点

- (1) 框架结构设计要点及规范相关规定。
- (2) 框架-剪力墙结构设计要点及规范相关规定。
- (3) 剪力墙结构设计要点及规范相关规定。

学习目标

了解框架结构、剪力墙结构、框架-剪力墙结构总体布置原则；掌握结构基本构件梁、柱、板和剪力墙的截面尺寸估算方法；掌握结构的计算假定和程序的正确选择方法。

思政要求

科学素养、工匠精神、创新思维,理解按规范设计和工程创新之间的关系。

框架结构、剪力墙结构、框架-剪力墙结构是多层及高层钢筋混凝土结构中最传统的结构体系。在建筑高度较高时,利用结构空间作用,又发展了框架-筒体结构、筒中筒结构、成束筒结构和巨型结构等多种结构体系。

2.1 框架结构设计

框架结构:由梁和柱为主要构件组成的承受竖向和水平作用的结构。按照框架布置方向的不同,框架结构体系可分为横向布置、纵向布置、纵横向布置三种框架布置形式。框架结构的变形特征为剪切型变形。在抗震设防地区,要求框架必须纵横向布置,形成双向框架结构形式,以抵抗水平风荷载和地震作用。框架结构的优点是建筑平面布置灵活,可以做成较大空间。需要时,可用隔断分隔成小空间,或拆除隔断恢复成大空间。外墙用非承重构件,可使立面设计灵活多变。如果采用轻质隔墙和外墙,就可大大降低房屋自重,节约材料。

框架结构有以下特点:

- (1) 梁、柱间的连接节点大多为刚节点。
- (2) 梁端具有部分固端约束(个别情况为固定端或铰接),故在大多数情况下梁端均作

用有负弯矩。每跨梁的弯矩符合下述规律：

$$|M_{\text{跨中}}| + \left| \frac{M_{\text{左端}} + M_{\text{右端}}}{2} \right| = |M_{\text{跨中, 简支梁}}| \quad (2-1)$$

在荷载作用下,梁既受弯曲、剪切,又受压缩(拉伸),计算中压缩(拉伸)的作用通常不予考虑。

(3) 柱在荷载作用下既受压缩,又受弯曲和剪切,在计算中必须同时考虑压缩和弯曲,剪切作用通常不予考虑;由于柱主要受压,在设计时要考虑稳定和压弯后的附加偏心距问题。

(4) 在框架结构设计时,要注意结构能否构成“几何不变体系”,以及在几何不变体系中是静定结构还是超静定结构的问题。工程中不允许采用几何可变体系,而超静定框架结构的承载力肯定比静定框架结构大。

2.1.1 框架结构柱网布置要点

各种几何形状楼面的框架结构布置如图 2-1 所示。在进行框架结构体系的平面布置时,要注意以下 4 点:

(1) 柱网尽可能有规律地布置,以利于结构的受力。

(2) 进行框架结构的平面布置时,必须认清框架结构的主要受力方向。主框架平面应该尽量与建筑结构的主要受力方向一致。结构的主要受力方向往往为建筑物平面的短向。

(3) 在布置框架结构主要受力方向梁系时,也要同时考虑框架结构非主要受力方向梁系的布置,它们也应尽量有规律地布置。

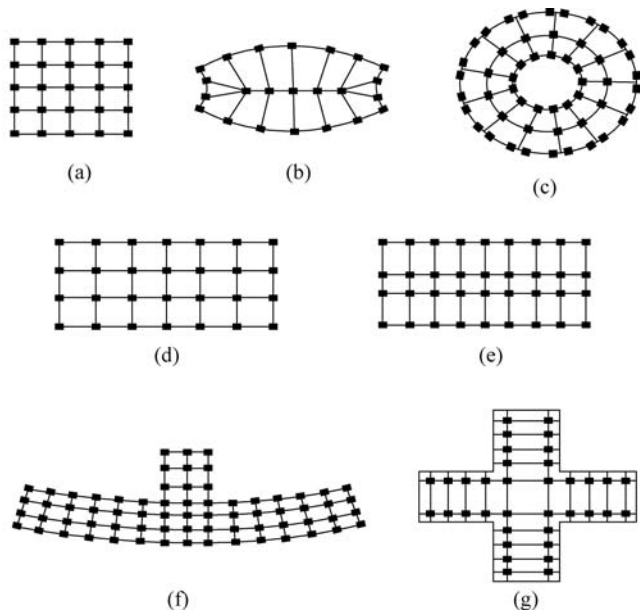


图 2-1 框架结构体系的平面布置

(a) 均布式; (b) 弧形式; (c) 圆形式; (d) 等跨式; (e) 内廊式; (f) 倒 T 式; (g) 十字式

(4) 框架柱的间距一般取主梁的常用跨度(6~9m)为宜;框架的层高一般取建筑物的合理层高(3~5m)。

在进行框架结构的平面布置时,要同时估计框架结构梁、柱的截面及板厚尺寸。

1. 梁截面尺寸估算

(1) 混凝土框架主梁的截面高度 $h = (1/15 \sim 1/10)l_0$ (l_0 为框架梁计算跨度), 截面宽度 $b = (1/3 \sim 1/2)h$, 且 $b > 200\text{mm}$, 一般取 250mm、300mm、350mm 等。

(2) 框架连系梁或次梁的截面高度 $h = (1/18 \sim 1/12)l_0$ (l_0 为框架连系梁或次梁的计算跨度), 截面宽度 $b = (1/3 \sim 1/2)h$, 且 $b \geq 200\text{mm}$, 一般取 200mm、250mm 等, 跨度较小的管道井、厨房、卫生间隔墙下的梁截面宽可以取到 120mm、150mm 等。

(3) 井式楼盖梁截面高度 $h = (1/20 \sim 1/16)l_0$ (l_0 为房间平面的短边长度), 截面宽度 $b = (1/4 \sim 1/3)h$ 。

(4) 悬臂梁截面高度 $h = (1/5 \sim 1/6)l_0$, $b = (1/3 \sim 1/2)h$ 。

2. 楼板截面尺寸估算

(1) 单向板: $h \geq (1/30)l_0$ (l_0 为板的计算跨度), 且 $h \geq 80\text{mm}$ 。

(2) 双向板: $h \geq (1/40)l_{01}$ (l_{01} 为短边计算跨度), 且 $h \geq 80\text{mm}$ 。

(3) 无梁支承的无柱帽板 $h \geq (1/30)l_{02}$, 无梁支承的有柱帽板 $h \geq (1/35)l_{02}$ (l_{02} 为柱网长边计算跨度), 且 $h \geq 150\text{mm}$ 。

(4) 现浇预应力混凝土楼板厚度: $h \geq (1/50 \sim 1/45)l_{01}$ (l_{01} 为预应力楼板的计算跨度), 且 $h \geq 150\text{mm}$ 。

(5) 悬臂板板厚(固定端): $h \geq (1/12 \sim 1/10)l_0$ (l_0 为悬臂板长度), 且当 $l_0 \leq 500\text{mm}$ 时, $h \geq 80\text{mm}$; 当 $l_0 = 1200\text{mm}$ 时, $h \geq 100\text{mm}$ 。

提示: 一般楼层现浇楼板厚度不应小于 80mm; 当板内预埋暗管时不宜小于 100mm; 顶层楼板厚度不宜小于 120mm; 普通地下室顶板厚度不宜小于 160mm; 作为上部结构嵌固部位的地下室楼层的顶盖应采用梁板结构, 板厚不宜小于 180mm, 应采用双向配筋, 且每个方向配筋率不宜小于 0.25%。

3. 柱截面尺寸估算

框架柱的截面尺寸, 可根据该柱估计承受的最大竖向荷载的设计值, 按轴压比的要求, 用下式估算:

$$A_c \geq \frac{N_c}{\mu_N f_c} \quad (2-2)$$

式中: f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值;

μ_N ——框架柱轴压比限值, 对一、二、三、四级抗震等级的框架柱, 分别取 0.65、0.75、0.85、0.90;

A_c ——柱的截面面积, $A_c = b \times h$, b 、 h 分别为柱的截面宽度和高度, 宜取 $b \geq 350\text{mm}$, $h \geq 400\text{mm}$, $H_{cn}/h > 4$ (H_{cn} 为柱的净高), 柱截面的高宽比不宜大于 3;

N_c ——竖向荷载和活荷载(考虑活荷载折减)与地震作用组合下的轴力设计值, 可根据框架柱的负荷面积按竖向荷载计算, 再乘以增大系数得到, 即:

$$N_c = 1.35nAq \quad (2-3)$$

式中： q ——考虑水平力影响折算在建筑面积上均布竖向荷载（结构自重和活荷载）及填充墙材料重量标准值，也可按表 2-1 选用；

A ——柱承受荷载的从属面积；

n ——计算截面以上的楼层层数。

表 2-1 柱考虑水平力（风荷载、地震作用）影响后的竖向荷载标准值

结构类型	重力荷载(包括活荷载)/(kN/m ²)	
框架	轻质填充墙	11~15
框架-剪力墙	轻质填充墙	13~18
剪力墙、筒体	—	16~20

当剪跨比不大于 2（短柱）或建造于Ⅳ类场地土且较高的框架结构，其柱容易发生剪切破坏，为此应放大柱的截面，式(2-2)中 μ_N 对一、二、三、四级抗震等级，分别取 0.60、0.70、0.80、0.85。

2.1.2 框架结构规范有关规定

现浇混凝土框架结构最大适用高度、抗震等级（丙类建筑）、最大高宽比和弹性层间位移角的确定见表 2-2。甲乙类建筑按规定提高一度确定其抗震等级，高度超过表 2-2 相应规定的上界时，应采取比一级更有效的抗震构造措施。

表 2-2 现浇混凝土框架结构最大适用高度、抗震等级、最大高宽比和弹性层间位移角

设防烈度	非抗震设计	6		7		8(0.2g)		8(0.3g)		9
最大适用高度/m	70	60		50		40		35		24
抗震等级	—	≤24	>24	≤24	>24	≤24	>24	≤24	>24	≤24
	—	四	三	三	二	二	一	二	一	一
大跨度框架	—	三		二		一				一
最大高宽比	5	4		4		3				2
弹性层间位移角	1/550									

注：建筑场地为Ⅰ类时，除 6 度外应允许按表内降低一度所对应的抗震等级采取抗震构造措施，但相应的计算要求不应降低；大跨度框架指跨度不小于 18m 的框架；接近或等于高度分界时，应允许结合房屋不规则程度及场地、地基条件确定抗震等级。

框架结构伸缩缝、沉降缝和防震缝规定如下。

规范规定现浇混凝土框架结构伸缩缝的最大间距为 55m，防震缝宽度见表 2-3，抗震设计时，伸缩缝、沉降缝的宽度应满足防震缝的要求。

表 2-3 框架结构防震缝宽度

设防烈度	6		7		8		9	
高度 H/m	≤15	>15	≤15	>15	≤15	>15	≤15	>15
防震缝宽度/mm	≥100	≥100+4h	≥100	≥100+5h	≥100	≥100+7h	≥100	≥100+10h

注：防震缝两侧结构类型不同时，宜按需要较宽防震缝的结构类型和较低房屋高度确定缝宽；表中 $h = H - 15$ 。