

- 3.1 竖向荷载
- 3.2 风荷载
- 3.3 地震作用
- 3.4 荷载效应组合
- 3.5 结构设计的基本要求

- 竖向荷载的组成
 - ✓ 恒载：
 - ✓ 结构自重
 - ✓ 附加于结构上的各种永久荷载
 - ✓ 活载：
 - ✓ 楼面活载（一般以楼面等效均布荷载的形式表达）
 - ✓ 屋面活荷载（上人屋面、非上人屋面）
 - ✓ 雪荷载
 - ✓ 屋面活载不与雪荷载同时考虑，取两者中的大值
 - ✓ 施工活荷载

对于固定隔墙的自重，可以按恒载考虑；对于位置可灵活布置的隔墙自重，可以按活载考虑。

3.1 竖向荷载

- ✓ 恒载：
 - 1) 结构自重
 - (单位：kN、kN/m、kN/m²、kN/m³)
 - 梁、柱、剪力墙、支撑、楼板等；考虑构件面层自重，钢筋混凝土容重可取26kN/m³左右。
 - 2) 楼面板面荷载（kN/m²)
 - 地砖或木地板等装修层
 - 找平层
 - 结构层
 - 板底找平
 - 吊顶、风管、风机、水管等
 - 3) 屋面荷载（水箱、游泳池等）

3.1 竖向荷载

- 4) 隔墙自重
 - 按实际情况布置，梁或墙上线荷载（kN/m）
 - 按均布荷载估算，折换成楼面荷载（kN/m²）
- 5) 设备自重
 - 按设备自重或运行荷载取值
 - 按等效均布荷载取值
 - (可参考规范及相关资料)

3.1 竖向荷载

- ✓ 活载：
 - 1. 楼面均布活荷载取值
 - 查看《建筑结构荷载规范》GB 50009-2012)
 - 规范中未规定项目：
 - 可根据实际情况取值
 - 参考有关资料
 - 2. 施工活荷载取值
 - 一般可取1.0~1.5 kN/m²，施工时采用附墙塔、爬塔等设备时，应根据具体情况验算施工荷载的影响。

楼面均布活荷载标准值

项次	类 别	标准值 (kN/m ²)	组合值 系数ψ _c	频遇值 系数ψ _f	准永久值 系数ψ _q
1	(1) 住宅、宿舍、旅馆、办公楼、医院病房、托儿所、幼儿园	2.0	0.7	0.5	0.4
	(2) 试验室、阅览室、会议室、医院门诊室	2.0	0.7	0.6	0.5
2	教室、食堂、餐厅、一般资料档案室	2.5	0.7	0.6	0.5
3	(1) 礼堂、剧场、影院、有固定座位的宴会	3.0	0.7	0.5	0.3
	(2) 公共洗衣房	3.0	0.7	0.6	0.5
4	(1) 商店、展览馆、车站、港口、机场大厅及其旅客候车室	3.5	0.7	0.6	0.5
	(2) 无固定座位的宴会	3.5	0.7	0.5	0.3
5	(1) 健身房、演出舞台	4.0	0.7	0.6	0.5
	(2) 运动场、舞厅	4.0	0.7	0.6	0.3

3.1 竖向荷载

3. 活荷载折减系数取值

1) 设计楼面梁时的折减系数:

楼面梁从属面积超过25m²(50m²)时, 应取0.9。

2) 设计墙柱基础时的折减系数:

墙柱基础计算截面以上的层数	1	2~3	4~5	6~8	9~10	>20
各楼层活荷载折减系数	1.00 (0.9)	0.85	0.70	0.65	0.60	0.55

7

3.1 竖向荷载

4. 考虑活荷载的不利布置

- 计算竖向荷载下的结构内力时, 一般可不考虑活荷载的不利布置, 按**满布**计算。
- 活荷载较大时, 可按按满布荷载计算的梁跨中弯矩乘以**1.1~1.2**的放大系数。

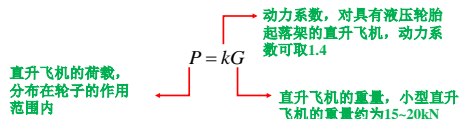
5. 直升飞机平台的活荷载

当建筑顶部设置直升飞机停机坪时, 直升飞机平台的活荷载应采用下列能使平台产生最大内力的荷载:

- 直升机总重量引起的局部荷载
- 等效均布活荷载5kN/m²

8

3.1 竖向荷载



局部荷载标准值及其作用面积

直升飞机类型	局部荷载标准值(kN)	作用面积(m ²)
轻型	20.0	0.20×0.20
中型	40.0	0.25×0.25
重型	60.0	0.30×0.30

- 直升机的动力荷载只传至楼板和梁。

9

3.2 风荷载

风荷载标准值

风载体型系数, 具体数值可查阅《建筑结构荷载规范》

$$W_k = \beta_z \mu_s \mu_z W_0$$

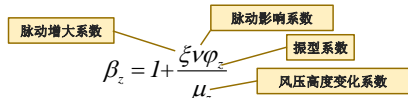
风载高度变化系数, 具体数值可查阅《建筑结构荷载规范》

基本风压, 以当地平坦空旷地面上离地面10m高统计所得50年一遇10分钟平均最大风速 v_0 (m/s), 按 $W_0 = v_0^2/1600$ 确定, 具体数值可查阅《建筑结构荷载规范》

风振系数, 对于高度大于30m且高宽比大于1.5的房屋, 应考虑其影响, 其值大于1

10

3.2 风荷载



- 风导致的高柔结构的振动比较明显
- 随结构周期的增长, 风振增强
- 结构第一自振周期可以采用简化方法估算

混凝土剪力墙结构、筒体结构: $T_1 = (0.05 \sim 0.06) \cdot n$
 混凝土框架结构: $T_1 = (0.09 \sim 0.10) \cdot n$
 混凝土框架-剪力墙结构、框架-核心筒结构: $T_1 = (0.06 \sim 0.08) \cdot n$
 钢框架结构: $T_1 = (0.12 \sim 0.15) \cdot n$

11

3.2 风荷载

- 对于风荷载比较敏感的高层建筑(一般为高度超过60m的高层建筑), 承载力设计时应按照基本风压的**1.1倍**采用;
- 高层建筑的体形和平面尺寸变化较多, 一般情况体形系数按《高层建筑混凝土结构技术规程》选用, 或由**风洞试验**确定。
- 当多栋或群集的高层建筑相互间距较近时, 宜考虑风力相互干扰的**群体效应**。一般可将单栋建筑的体形系数乘以**相互干扰增大系数**, 可参考类似条件的试验资料确定, 必要时宜通过风洞试验确定。

12

3.2 风荷载

- ✓ 当房屋的高度**大于200m**或下列情况之一时宜进行风洞试验以确定其风荷载：
 - 平面形状或立面形状复杂
 - 立面开洞或连体建筑
 - 周围地形和环境较复杂

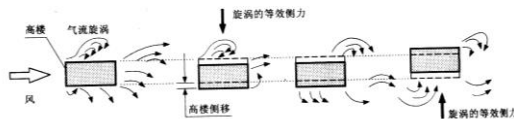
13

3.2 风荷载

➤ 横风向风振

✓ 横风向风振起因

- 尾流激励 (漩涡脱落激励)
- 横风向紊流激励
- 气动弹性激励 (建筑振动与风之间的耦合效应)



14

3.2 风荷载

- ✓ 横风向振动效应明显的高层建筑，应考虑横风向风振的影响。
- ✓ 高度超过**150m**或**高宽比大于5**的高层建筑可出现较为明显的横风向风振效应，并且该效应应随着建筑高度或高宽比的增加而增加。
- 旋转风振
 - ✓ 由于建筑各个立面风压的非对称作用产生，受截面形状和湍流度等因素的影响较大。
 - ✓ 旋转风振效应明显的高层建筑，应考虑旋转风振的影响。

15

3.3 地震作用

3.3.1 一般计算原则

➤ 抗震设防类别：建筑物根据使用功能的重要性分为甲类、乙类、丙类、丁类四个抗震设防类别

- ✓ **甲类建筑** (特殊设防类) — 重大建筑工程和地震时可能产生严重次生灾害的建筑；
- ✓ **乙类建筑** (重点设防类) — 地震时使用功能不能中断或须尽快恢复的建筑；
- ✓ **丙类建筑** (标准设防类) — 甲、乙、丁类建筑以外的建筑；
- ✓ **丁类建筑** (适度设防类) — 抗震次要建筑

高层建筑一般分为三个抗震设防类别：甲类建筑、乙类建筑、丙类建筑。

16

3.3 地震作用

- 对各个抗震设防类别建筑的地震作用和抗震措施要求：
 - ✓ **甲类建筑** — 地震作用应高于本地区抗震设防烈度的要求，其值应按批准的地震安全性评价结果确定；**抗震措施**，当抗震设防为6~8度时，应符合本地区设防烈度提高一度的要求，当为9度时，应符合比9度更高的要求。
 - ✓ **乙类建筑** — 地震作用应符合本地区抗震设防烈度的要求；**抗震措施**，当抗震设防为6~8度时，应符合本地区设防烈度提高一度的要求，当为9度时，应符合比9度更高的要求。
 - ✓ **丙类建筑** — **地震作用**和**抗震措施**均应符合本地区抗震设防烈度的要求。
 - ✓ **丁类建筑** — 一般情况下，**地震作用**仍应符合本地区抗震设防烈度的要求；**抗震措施**允许比本地区设防烈度的要求降低，但抗震设防烈度为6度时不应降低。

17

3.3 地震作用

➤ 高层建筑的地震作用计算应符合下列要求：

- ✓ 一般情况下，应至少在结构**两个主轴方向**分别计算水平地震作用；
- ✓ 有**斜交**抗侧力构件的结构，当相交角度**大于15°**时，应分别计算各抗侧力构件方向的水平地震作用。
- ✓ 质量与刚度分布明显不对称的结构，应计算**双向**水平地震作用下的**扭转**影响；其它情况，应计算**单向**水平地震作用下的**扭转**影响。
- ✓ 7度 (0.15g)、8度时的**大跨度**、**长悬臂**结构，9度时的**高层建筑**，应考虑**竖向**地震作用。

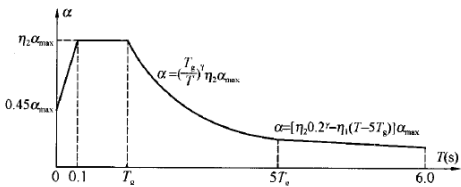
18

3.3 地震作用

- 计算单向地震作用时应考虑偶然偏心的影响，每层质心沿垂直于地震作用方向的偏移值可按下式采用：
$$e_i=\pm 0.05L_i$$
- 地震作用计算方法：
 - 高层建筑宜采用振型分解反应谱法；
 - 对质量和刚度不对称、不均匀的结构以及高度超过100m的高层建筑应采用考虑扭转耦联振动影响的振型分解反应谱法；
 - 高度不超过40m、以剪切变形为主且质量和刚度沿高度分布比较均匀的高层建筑结构，可采用底部剪力法；
 - 7~9度时下列高层建筑，应采用弹性时程分析法进行多遇地震下的补充计算：

19

3.3 地震作用



地震影响系数曲线
 α —地震影响系数； α_{max} —地震影响系数最大值；
 η_1 —直线下降段的下降斜率调整系数； γ —衰减指数；
 T_g —特征周期； η_2 —阻尼调整系数； T —结构自振周期

21

3.3 地震作用

- 甲类高层建筑结构；
- 表中所列的乙类、丙类高层建筑结构；
- 竖向不规则高层建筑结构；
- 复杂高层建筑结构：带转换层结构、带加强层结构、错层结构、连体结构、竖向体型收进、悬挑结构

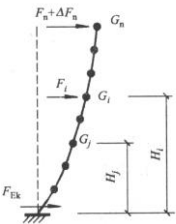
设防烈度、场地类别	建筑高度范围
8度I、II类场地和7度	>100m
8度III、IV类场地	>80m
9度	>60m

20

3.3 地震作用

底部剪力法

- 基本假定：
 - 结构竖向均匀；
 - 高度不超过40m；
 - 振型以第一振型为主；
 - 考虑高层建筑弯曲振型的影响，将部分地震作用移至顶层；
 - 用于抗震简化计算；
 - 初步估算竖向构件截面。



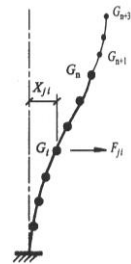
结构水平地震作用计算简图

22

3.3 地震作用

振型分解反应谱法

- 拟动力法，现阶段抗震设计的主要方法；
- 基础是地震弹性反应谱理论；
- 仅适用于结构的弹性分析。



结构水平地震作用计算简图

23

3.3 地震作用

平移振动

- 对称结构；
- 不进行扭转耦联；
- 采用串连质点系模型；
- 振型迭加采用SRSS法（相邻周期比小于0.85）；
- 振型迭加采用CQC法（相邻周期比大于0.85）。

$$S_{Ek} = \sqrt{\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^m \rho_{jk} S_j S_k}$$

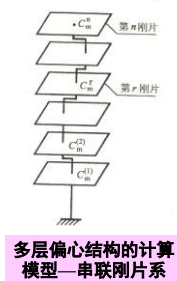
$$F_{ji} = \alpha_j \gamma_j X_{ji} G_i$$
$$\gamma_j = \frac{\sum_{i=1}^n X_{ji} G_i}{\sum_{i=1}^n X_{ji}^2 G_i}$$
$$S_{Ek} = \sqrt{\sum_j S_j^2}$$

24

3.3 地震作用

平移+扭转耦联振动

- 对于质量、刚度无明显不对称的规则结构，为考虑偶然偏心引起的扭转效应，当不计算扭转耦联时，平行与地震作用方向的2个边榀框架的地震效应乘增大系数，1.05~1.30；
- 考虑扭转耦联的计算：采用“串联刚片系”模型。



25

3.3 地震作用

振型参与系数

$$\begin{aligned} F_{Xji} &= \alpha_j \gamma_{ij} X_{ji} G_i \\ F_{Yji} &= \alpha_j \gamma_{ij} Y_{ji} G_i \\ F_{tji} &= \alpha_j \gamma_{ij} r_i^2 \phi_{ji} G_i \end{aligned}$$

当仅为X方向地震作用时：

$$\gamma_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^n X_{ji} G_i}{\sum_{i=1}^n (X_{ji}^2 + Y_{ji}^2 + \phi_{ji}^2 r_i^2) G_i}$$

当仅为Y方向地震作用时：

$$\gamma_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_{ji} G_i}{\sum_{i=1}^n (X_{ji}^2 + Y_{ji}^2 + \phi_{ji}^2 r_i^2) G_i}$$

当取与X方向夹角θ时：

$$\gamma_{ij} = \gamma_{Xj} \cos \theta + \gamma_{Yj} \sin \theta$$

26

3.3 地震作用

扭转效应

振型迭加采用CQC法（完全方根组合法）

单向水平地震作用的扭转效应：

$$S_{Ek} = \sqrt{\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^m \rho_{jk} S_j S_k}$$

双向水平地震作用的扭转效应：

$$\begin{aligned} S_{Ek} &= \sqrt{S_x^2 + (0.85 S_y)^2} \\ S_{Ek} &= \sqrt{S_y^2 + (0.85 S_x)^2} \end{aligned}$$

27

3.3 地震作用

时程分析时输入地震波的要求：

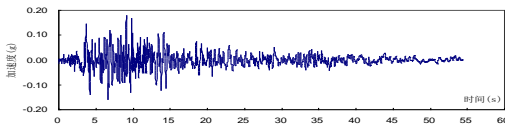
- 应按建筑场地类别和设计地震分组选取实际地震记录和人工模拟的加速度时程曲线，总数不少于3组，实际地震记录不少于总数的2/3；
- 多组时程曲线的平均地震影响系数曲线应与设计地震影响系数曲线在统计意义上相符；
- 弹性时程分析时，每条时程曲线计算得到的结构底部剪力不应小于振型分解反应谱法计算结果的65%，多条时程曲线计算得到的结构底部剪力的平均值不应小于振型分解反应谱法计算结果的80%；
- 地震波的持续时间不宜小于结构基本自振周期的5倍和15s，地震波的时间间距可取0.01s或0.02s。

28

3.3 地震作用

结构地震效应的取值：

- 当取三组时程曲线计算时，结构地震效应宜取时程分析法计算结果的包络值与振型分解反应谱法计算结果的较大值；
- 当取七组及七组以上时程曲线计算时，结构地震效应可取时程分析法计算结果的平均值与振型分解反应谱法计算结果的较大值。



29

3.3 地震作用

最小楼层剪力

多遇地震水平地震作用计算时，结构各楼层对应于地震作用标准值的剪力应符合：

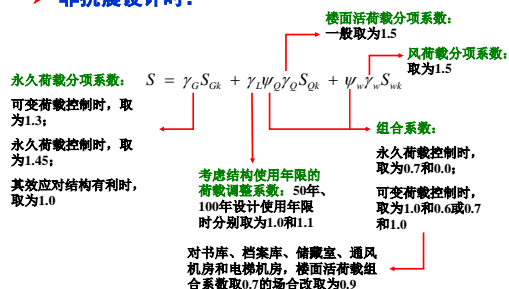
$$V_{Eki} > \lambda \sum_{j=1}^n G_j$$

类别	6	7	8	9
扭转效应明显或基本周期小于3.5s的结构	0.008	0.016/0.024	0.032/0.048	0.064
基本周期大于5.0s的结构	0.006	0.012/0.018	0.024/0.036	0.048

30

3.4 荷载效应组合

非抗震设计时:



31

3.4 荷载效应组合

抗震设计时:

$$S = \gamma_G S_{Ek} + \gamma_{Eh} S_{Ehk} + \gamma_{Ev} S_{Evk} + \psi_w \gamma_w S_{wk}$$

风载组合系数, 取为0.2

- ✓ 只有当建筑物高度超过60m时, 才同时考虑风与地震产生的效应;
- ✓ 需考虑竖向地震作用的情况: 7度(0.15g)、8度时的水平长悬臂和大跨结构; 9度

32

3.5 结构设计的基本要求

3.5.1 水平位移限值 and 舒适度要求

层间弹性水平位移限值(风荷载或多遇地震作用下)

- ✓ 具有足够的刚度, 避免填充墙或抗侧力构件开裂。
- ✓ 对于钢筋混凝土结构:
 - 高度不大于150m的高层建筑, 层间位移角限值如下

钢筋混凝土结构体系	$[\theta_r]$
框架结构	1/550
框架-剪力墙结构、框架-核心筒结构、板柱-剪力墙结构	1/800
剪力墙结构、筒中筒结构	1/1000
除框架结构外的转换层	1/1000

- 高度不小于250m的高层建筑, 层间位移角限值为1/500。
- 高度为150~250m之间的高层建筑, 层间位移角限值根据高度按上述限值线性插入取用。

- ✓ 对于钢结构, 层间位移角限值为1/250。

33

3.5 结构设计的基本要求

层间弹塑性水平位移限值(罕遇地震作用下)

- ✓ 实现大震不倒。
- ✓ 对于钢筋混凝土结构, 层间位移角限值如下

钢筋混凝土结构体系	$[\theta_p]$
框架结构	1/50
框架-剪力墙结构、框架-核心筒结构、板柱-剪力墙结构	1/100
剪力墙结构、筒中筒结构	1/120
除框架结构外的转换层	1/120

- ✓ 对于钢结构, 层间位移角限值为1/50。

34

3.5 结构设计的基本要求

结构顶点加速度限值

- ✓ 房屋高度不小于150m的高层建筑结构应满足风振舒适度要求。
- ✓ 在10年一遇的风荷载标准值作用下, 结构顶点的顺风向和横风向振动最大加速度应满足限值要求:
 - 对住宅和公寓不应大于0.15m/s²。
 - 对于办公楼和旅馆不应0.25m/s²。

35

3.5 结构设计的基本要求

楼盖结构的舒适度要求

- ✓ 楼盖结构的竖向振动频率不宜小于3Hz。
- ✓ 竖向振动加速度峰值不应超过表中限值。

人员活动环境	楼盖竖向振动加速度限值	
	峰值加速度限值(m/s ²)	
	竖向自振频率不大于2Hz	竖向自振频率不小于4Hz
住宅、办公	0.07	0.05
商场及室内连廊	0.22	0.15

注: 楼盖结构竖向自振频率为2Hz~4Hz时, 限值可按线性插值选取。

36

3.5 结构设计的基本要求

3.5.2 结构计算分析的要求

- 当非承重墙为砌体墙时，高层建筑结构的计算自振周期折减系数可按下列规定取值：
 - ✓ 框架结构可取0.6~0.7；
 - ✓ 框架-剪力墙结构可取0.7~0.8；
 - ✓ 框架-核心筒结构可取0.8~0.9；
 - ✓ 剪力墙结构可取0.8~1.0。
- 对于其他结构体系或采用其他非承重墙体时，可根据工程情况确定周期折减系数。

37

3.5 结构设计的基本要求

- 高层建筑结构的变形和内力可按弹性方法计算，框架梁及连梁等构件可考虑塑性变形引起的内力重分布。
- 高层建筑结构地震作用效应计算时，可对剪力墙连梁刚度予以折减，折减系数不宜小于0.5。
- 在结构内力与位移计算中，现浇楼盖和装配整体式楼盖中，梁的刚度可考虑翼缘的作用予以放大。近似考虑时，楼面梁刚度增大系数可根据翼缘情况取1.3~2.0。
- 对于无现浇面层的装配式楼盖，不宜考虑楼面梁刚度的增大。
- 在竖向荷载作用下，可考虑框架梁端塑性变形内力重分布对梁端负弯矩乘以调幅系数进行调幅。

38

3.5 结构设计的基本要求

- 应先将竖向荷载作用下框架梁的弯矩进行调幅，再与水平作用产生的框架梁弯矩进行组合。
- 框架梁端负弯矩调幅后，梁跨中弯矩应按平衡条件相应增大。
- 楼面梁受扭计算时应考虑现浇楼盖对梁的约束作用。当计算中未考虑现浇楼盖对梁扭转的约束作用时，可对梁的计算扭矩予以折减，折减系数应根据梁周围楼盖的约束情况确定。

39