

2018

二级注册结构工程师 专业考试复习教程

中

施岚青 主 编
陈 嵘 副主编

2018

中国建筑工程工业出版社

2018

二级注册结构工程师 专业考试复习教程

中

施岚青 主 编

陈 嵘 副主编

中国建筑工业出版社

目 录

上

第 1 章 荷载	1
1.1 荷载代表值和荷载组合	1
一、荷载分类和荷载代表值	1
二、荷载组合	3
1.2 楼面和屋面活荷载	19
一、民用建筑楼面活荷载	19
二、屋面活荷载	29
三、施工和检修荷载及栏杆水平荷载	32
1.3 吊车荷载	35
一、概述	35
二、吊车梁所承担的吊车荷载	36
三、排架所承担的吊车荷载	41
1.4 风荷载	42
一、计算主要受力结构时采用的风荷载	42
二、计算围护结构时采用的风荷载	59
第 2 章 建筑抗震设计	62
2.1 抗震设防	62
一、地震波	62
二、大震、中震、小震	65
三、三水准设防、二阶段设计	70
四、概念设计、计算设计（抗震计算）、构造设计（构造措施）	77
五、抗震设防标准	78
2.2 抗震概念设计的基本原则	89
一、场地与地基	89
二、建筑形体的规则性	91
三、结构材料与施工	121
2.3 地震作用和结构抗震验算	129
一、地震反应谱和地震影响系数曲线	129
二、振型分解反应谱法	150
三、扭转耦联振型分解法	157
四、底部剪力法	164

五、水平地震作用的调整	170
六、时程分析法	181
七、竖向地震作用	188
八、结构抗震承载力验算	191
九、抗震变形验算	199
2.4 延性与抗震等级	217
一、延性和塑性耗能能力	217
二、抗震等级	237
2.5 结构分析、重力二阶效应及结构稳定	249
一、结构分析	249
二、重力二阶效应及结构稳定	252
第3章 混凝土结构	262
3.1 一般规定	262
一、结构重要性系数 γ_0	262
二、材料	263
三、塑性内力重分布	269
3.2 构造规定	272
一、混凝土保护层	272
二、钢筋的锚固	273
三、钢筋的连接	276
四、纵向受力钢筋的最小配筋率	285
3.3 正截面承载力计算	288
一、正截面承载力计算的一般规定	288
二、正截面受弯承载力计算	291
三、正截面受压承载力计算	318
四、正截面受拉承载力计算	351
3.4 抗剪、抗扭、抗冲切、局部承压	354
一、斜截面受剪承载力计算	354
二、扭转截面的承载力计算	383
三、受冲切承载力计算	410
四、局部受压承载力计算	421
3.5 正常使用极限状态验算	425
一、基本设计规定	425
二、裂缝宽度验算	429
三、受弯构件的挠度验算	439
3.6 结构构件的基本规定	445
一、板	445
二、梁	451
三、柱、墙	466

四、梁柱节点、牛腿 472

五、深受弯构件、叠合构件 482

六、预埋件及吊钩 495

中

第 4 章 高层建筑结构..... 507

4.1 结构设计基本规定 507

一、房屋的适用高度及高宽比 507

二、上部结构的嵌固部位 511

三、地下室底面的应力控制 515

4.2 框架结构 518

一、一般规定 518

二、框架梁 520

三、框架柱 539

四、梁柱节点 572

4.3 剪力墙结构 583

一、一般规定 583

二、悬臂实体剪力墙 593

三、双肢墙 642

四、连梁 652

4.4 框架-剪力墙结构、板柱-剪力墙结构和异形柱结构 666

一、框架-剪力墙结构 666

二、板柱-剪力墙结构 691

三、混凝土异形柱结构 700

第 5 章 钢结构..... 711

5.1 基本设计规定 711

一、钢材的主要力学性能 711

二、钢材的分类及选用原则 713

三、设计指标 716

5.2 连接计算 722

一、焊缝连接 722

二、螺栓连接 749

三、高强度螺栓连接 771

5.3 轴心受力构件 784

一、轴心受力构件的强度 784

二、轴心受力构件的刚度 790

三、轴心受压构件的整体稳定 812

四、轴心受压构件的局部稳定 828

5.4 受弯构件 834

一、受弯构件的强度	834
二、受弯构件的整体稳定（弯扭屈曲）	848
三、受弯构件的局部稳定	859
四、受弯构件的挠度验算	869
5.5 拉弯和压弯构件	874
一、拉弯和压弯构件的强度	875
二、柱的计算长度	880
三、实腹式压弯构件在弯矩作用平面内的整体稳定	895
四、压弯构件的局部稳定	907
5.6 构件的连接计算	912
一、梁与柱的刚性连接	912
二、连接节点处板件的计算	918
三、与梁、柱有关的连接计算	923
四、其他构造问题	928
第6章 砌体结构与木结构	932
6.1 房屋的静力计算	932
一、三种静力计算方案	932
二、刚性方案或刚弹性方案的横墙要求	933
三、单层砌体结构房屋的计算	934
四、多层砌体结构房屋的计算	939
五、水平风荷载作用下的内力分析	942
六、上柔下刚多层房屋的静力计算	944
6.2 高厚比验算	945
一、墙、柱的高厚比验算	945
二、自承重墙的高厚比验算	956
三、带壁柱墙的高厚比验算	959
四、变截面柱的高厚比验算	969
五、配筋砌体的高厚比验算	972
6.3 无筋砌体	978
一、受压构件	978
二、局部受压构件	991
三、受弯、轴拉与受剪构件	1005
6.4 配筋砖砌体构件	1010
一、网状配筋砖砌体构件	1010
二、砖砌体和钢筋混凝土面层或钢筋砂浆面层的组合砌体构件	1018
三、砖砌体和钢筋混凝土构造柱组合墙	1025
6.5 砌块砌体构件和配筋砌块砌体构件	1029
一、砌块砌体构件	1029
二、配筋混凝土砌块砌体构件	1040

6.6 过梁、墙梁和挑梁	1045
一、过梁	1045
二、墙梁	1051
三、挑梁	1063
6.7 多层砖砌体房屋抗震	1074
一、多层砖砌体房屋的抗震概念设计	1074
二、多层砖砌体房屋的抗震构造设计	1085
三、多层砌体房屋的抗震计算设计	1105
6.8 砌块砌体构件和配筋砌块砌体构件抗震设计	1133
一、砌块砌体构件抗震设计	1133
二、配筋砌块砌体剪力墙抗震设计	1138
6.9 底部框架抗震墙砌体房屋	1152
一、一般规定	1152
二、抗震构造措施	1155
三、刚度比	1165
四、抗震计算	1165
6.10 木结构	1176
一、材料和设计指标	1176
二、构件	1181
三、连接	1196
四、构造	1209
五、防火与防护	1214
六、抗震设计	1218

下

第7章 地基与基础	1221
7.1 基本要求	1221
一、设计要求	1221
二、作用与作用的组合	1226
7.2 地基土的分类	1229
一、砂土和碎石土的分类	1230
二、黏性土的分类	1233
三、粉土	1237
四、淤泥	1238
7.3 土中应力计算	1239
一、自重应力	1239
二、基底压力	1240
三、附加应力	1244
四、用角点法计算土中的附加应力	1246

五、用应力扩散角法计算土中的附加应力..... 1249

7.4 地基承载力..... 1253

一、地基承载力特征值 1253

二、根据载荷试验法确定地基承载力特征值 1256

三、地基承载力特征值的修正 1260

四、根据土的抗剪强度指标确定地基承载力特征值 1268

五、地基承载力计算 1271

7.5 地基变形计算..... 1278

一、土的压缩与变形的控制 1278

二、变形计算 1287

7.6 土压力与重力式挡墙..... 1303

一、土压力 1303

二、挡土墙 1317

三、坡顶到基底的最小距离 1325

四、抗浮稳定性 1327

7.7 浅基础设计..... 1329

一、基础埋置深度 1329

二、基础设计所采用的荷载效应 1331

三、无筋扩展基础 1332

四、扩展基础 1335

五、联合基础 1353

六、梁板式筏基底板 1356

七、岩石锚杆基础 1365

7.8 桩基础..... 1367

一、基本设计规定 1367

二、单桩竖向极限承载力..... 1378

三、特殊条件下的桩基计算 1398

四、承台计算 1414

7.9 地基处理..... 1424

一、压实地基 1424

二、换填垫层 1428

三、复合地基的一般规定..... 1431

四、散体材料增强体复合地基的承载力计算 1444

五、有粘结强度增强体复合地基承载力计算 1451

六、复合地基的变形计算..... 1464

7.10 场地、液化土和地基基础的抗震验算 1470

一、场地..... 1470

二、天然地基和基础 1476

三、液化土 1479

四、桩基	1486
附录 内力分析	1490
附录 1 静定结构内力计算	1490
一、受弯构件	1490
二、压弯构件	1504
三、拉、压杆件	1518
四、挠度	1528
附录 2 结构的刚度	1536
一、截面几何性质	1536
二、结构的刚度	1546
附录 3 竖向荷载作用下连续梁和框架的内力计算	1554
一、力矩分配法	1554
二、分层法	1563
附录 4 水平荷载作用下排架和框架结构的内力计算	1570
一、排架的内力计算	1570
二、框架的内力计算	1592
附录 5 影响线	1623
一、影响线概念	1623
二、静力法作影响线	1624
三、机动法作影响线	1630
四、利用影响线求固定荷载作用下的量值	1637
五、利用影响线确定最不利荷载位置——最大值	1639
六、简支梁的绝对最大弯矩	1648
后记	1655

第4章 高层建筑结构

4.1 结构设计基本规定

一、房屋的适用高度及高宽比

1. 最大适用高度

《建筑抗震设计规范》6.1.1 条的“条文说明”指出

对采用钢筋混凝土材料的高层建筑，从安全和经济诸方面综合考虑，其适用最大高度应有限制。

(1) 《建筑抗震设计规范》规定

《建筑抗震设计规范》6.1.1 条规定了各类混凝土房屋的最大高度。

6.1.1 本章适用的现浇钢筋混凝土房屋的结构类型和最大高度应符合表 6.1.1 的要求。平面和竖向均不规则的结构，适用的最大高度宜适当降低。

注：本章“抗震墙”指结构抗侧力体系中的钢筋混凝土剪力墙，不包括只承担重力荷载的混凝土墙。

表 6.1.1 现浇钢筋混凝土房屋适用的最大高度（m）

结构类型		烈 度				
		6	7	8 (0.2g)	8 (0.3g)	9
框架		60	50	40	35	24
框架-抗震墙		130	120	100	80	50
抗震墙		140	120	100	80	60
部分框支抗震墙		120	100	80	50	不应采用
筒体	框架-核心筒	150	130	100	90	70
	筒中筒	180	150	120	100	80
板柱-抗震墙		80	70	55	40	不应采用

注：1. 房屋高度指室外地面到主要屋面板板顶的高度（不包括局部突出屋顶部分）；

2. 框架-核心筒结构指周边板柱框架与核心筒组成的结构；

3. 部分框支抗震墙结构指首层或底部两层为框支层的结构，不包括仅个别框支墙的情况；

4. 表中框架，不包括异形柱框架；

5. 板柱-抗震墙结构指板柱、框架和抗震墙组成抗侧力体系的结构；

6. 乙类建筑可按本地区抗震设防烈度确定其适用的最大高度；

7. 超过表内高度的房屋，应进行专门研究和论证，采取有效地加强措施。

(2) 《高层建筑混凝土结构技术规程》规定

《高层建筑混凝土结构技术规程》将房屋高度分成 A 级、B 级两类。

① A 级房屋高度

《高层建筑混凝土结构技术规程》规定

3.3.1 钢筋混凝土高层建筑结构的最大适用高度应区分为 A 级和 B 级。A 级高度钢筋混凝土乙类和丙类高层建筑的最大适用高度应符合表 3.3.1-1 的规定，B 级高度钢筋混凝土乙类和丙类高层建筑的最大适用高度应符合表 3.3.1-2 的规定。						
平面和竖向均不规则的高层建筑结构，其最大适用高度宜适当降低。						
表 3.3.1-1 A 级高度钢筋混凝土高层建筑的最大适用高度（m）						
结构体系		非抗震设计	抗震设防烈度			
			6 度	7 度	8 度	
					0.20g	0.30g
框架		70	60	50	40	35
框架-剪力墙		150	130	120	100	80
剪力墙	全部落地剪力墙	150	140	120	100	80
	部分框支剪力墙	130	120	100	80	50
筒 体	框架-核心筒	160	150	130	100	90
	筒中筒	200	180	150	120	100
板柱-剪力墙		110	80	70	55	40
注：1 表中框架不含异形柱框架；						
2 部分框支剪力墙结构指地面以上有部分框支剪力墙的剪力墙结构；						
3 甲类建筑，6、7、8 度时宜按本地区抗震设防烈度提高一度后符合本表的要求，9 度时应专门研究；						
4 框架结构、板柱-剪力墙结构以及 9 度抗震设防的表列其他结构，当房屋高度超过本表数值时，结构设计应有可靠依据，并采取有效的加强措施。						

② B 级房屋高度

《高层建筑混凝土结构技术规程》规定

表 3.3.1-2 B 级高度钢筋混凝土高层建筑的最大适用高度（m）						
结构体系		非抗震设计	抗震设防烈度			
			6 度	7 度	8 度	
					0.20g	0.30g
框架-剪力墙		170	160	140	120	100
剪力墙	全部落地剪力墙	180	170	150	130	110
	部分框支剪力墙	150	140	120	100	80
筒体	框架-核心筒	220	210	180	140	120
	筒中筒	300	280	230	170	150
注：1 部分框支剪力墙结构指地面以上有部分框支剪力墙的剪力墙结构；						
2 甲类建筑，6、7 度时宜按本地区设防烈度提高一度后符合本表的要求，8 度时应专门研究；						
3 当房屋高度超过表中数值时，结构设计应有可靠依据，并采取有效的加强措施。						

执行这条《规范》规定时要注意二点

① 房屋高度的取值要执行《建筑抗震设计规范》6.1.1 条表 6.1.1 注 1 的规定。

注：1 房屋高度指室外地面到主要屋面板板顶的高度（不包括局部突出屋顶部分）；

亦即是执行《高层建筑混凝土结构技术规程》2.12 条规定

2.1.2 房屋高度 building height
自室外地面至房屋主要屋面的高度，不包括突出屋面的电梯机房、水箱、构架等高度。

② 对于不规则结构的房屋高度要执行《建筑抗震设计规范》6.1.1 条“条文说明”第 5 款的要求。

5 对于平面和竖向均不规则的结构，适用的最大高度适当降低的规范用词，由“应”改为“宜”，一般减少 10%左右。

【例 4.1.1-1】 确定房屋的计算高度（121.20m）

条件：某高层建筑如图 4.1.1-1 所示，屋面上皮标高为 +120.000m，屋面上有一高 32m 的尖塔和高 10m 的局部建筑，室内外高差 1.2m。

要求：确定抗震等级时的房屋计算高度。

【答案】《高层建筑混凝土结构技术规程》规定 2.1.2 条指出：房屋高度指室外地面至主要屋面高度，不包括局部突出屋面的电梯机房、水箱、构架等高度。

$$H=120.00+1.20=121.20\text{m}$$

【例 4.1.1-2】 确定房屋的计算高度（33.6m）

条件：有一幢钢筋混凝土框架-剪力墙结构，共 9 层，首层层高 4.2m，其他各层层高 3.6m，首层地面比室外地面高出 0.6m，屋顶有局部突出的电梯机房层高 3m。

要求：确定房屋的计算高度。

【答案】根据《建筑抗震设计规范》表 6.1.1 条注 1 规定：

$$H=0.6+4.2+8\times 3.6=33.6\text{m}$$

2. 高宽比限值

《高层建筑混凝土结构技术规程》规定

3.3.2 钢筋混凝土高层建筑结构的高宽比不宜超过表 3.3.2 的规定。				
表 3.3.2 钢筋混凝土高层建筑结构适用的最大高宽比				
结构体系	非抗震设计	抗震设防烈度		
		6 度、7 度	8 度	9 度
框架	5	4	3	—
板柱-剪力墙	6	5	4	—
框架-剪力墙、剪力墙	7	6	5	4
框架-核心筒	8	7	6	4
筒中筒	8	8	7	5

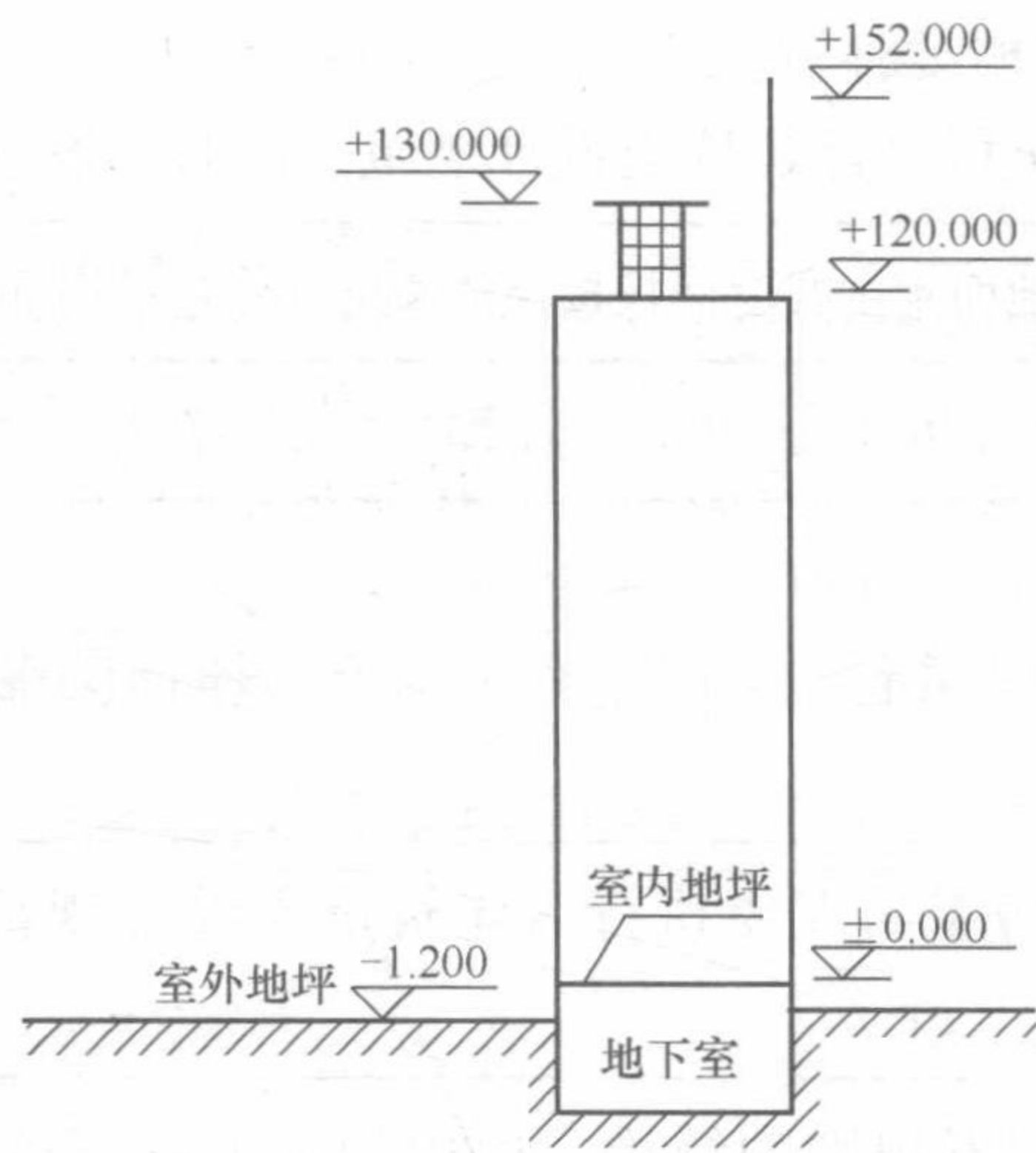


图 4.1.1-1 办公楼侧面轮廓尺寸

控制高厚比的目的《高层建筑混凝土结构技术规程》3.3.2 条的“条文说明”有交代

3.3.2 高层建筑的高宽比，是对结构刚度、整体稳定、承载能力和经济合理性的宏观控制；在结构设计满足本规程规定的承载力、稳定、抗倾覆、变形和舒适度等基本要求后，仅从结构安全角度讲高宽比限值不是必须满足的，主要影响结构设计的经济性。

宽厚比具体计算时有很多数值不易确定、可参考《高层建筑混凝土结构技术规程》3.3.2 条的“条文说明”。

在复杂体型的高层建筑中，如何计算高宽比是比较难以确定的问题。一般情况下，可按所考虑方向的最小宽度计算高宽比，但对突出建筑物平面很小的局部结构（如楼梯间、电梯间等），一般不应包含在计算宽度内；对于不宜采用最小宽度计算高宽比的情况，应由设计人员根据实际情况确定合理的计算方法；对带有裙房的高层建筑，当裙房的面积和刚度相对于其上部塔楼的面积和刚度较大时，计算高宽比的房屋高度和宽度可按裙房以上塔楼结构考虑。

【例 4.1.1-3】 大底盘单塔楼高层建筑的高宽比

条件：某大底盘单塔楼高层建筑，主楼为钢筋混凝土框架-核心筒，与主楼连接的裙房为混凝土框架结构，如图 4.1.1-2 所示：裙房的面积、刚度相对于其上部塔楼的和刚度较大。

要求：该房屋主楼高宽比。

【答案】由《高层建筑混凝土结构技术规程》规定表 2.1.2 条：房屋高度指室外地面至主要屋面高度，包括局部突出屋面的电梯机房、水箱等高度；

由《高层建筑混凝土结构技术规程》规定 3.3.2 条的条文说明：对带有裙房的高层建筑，当裙房的面积和刚度相对于其上部塔楼的面积和刚度较大时，计算高宽比时的高度和宽度取裙房以上部分考虑。该房屋主楼高宽比 $\frac{H}{B} = \frac{58}{26} = 2.2$ 。

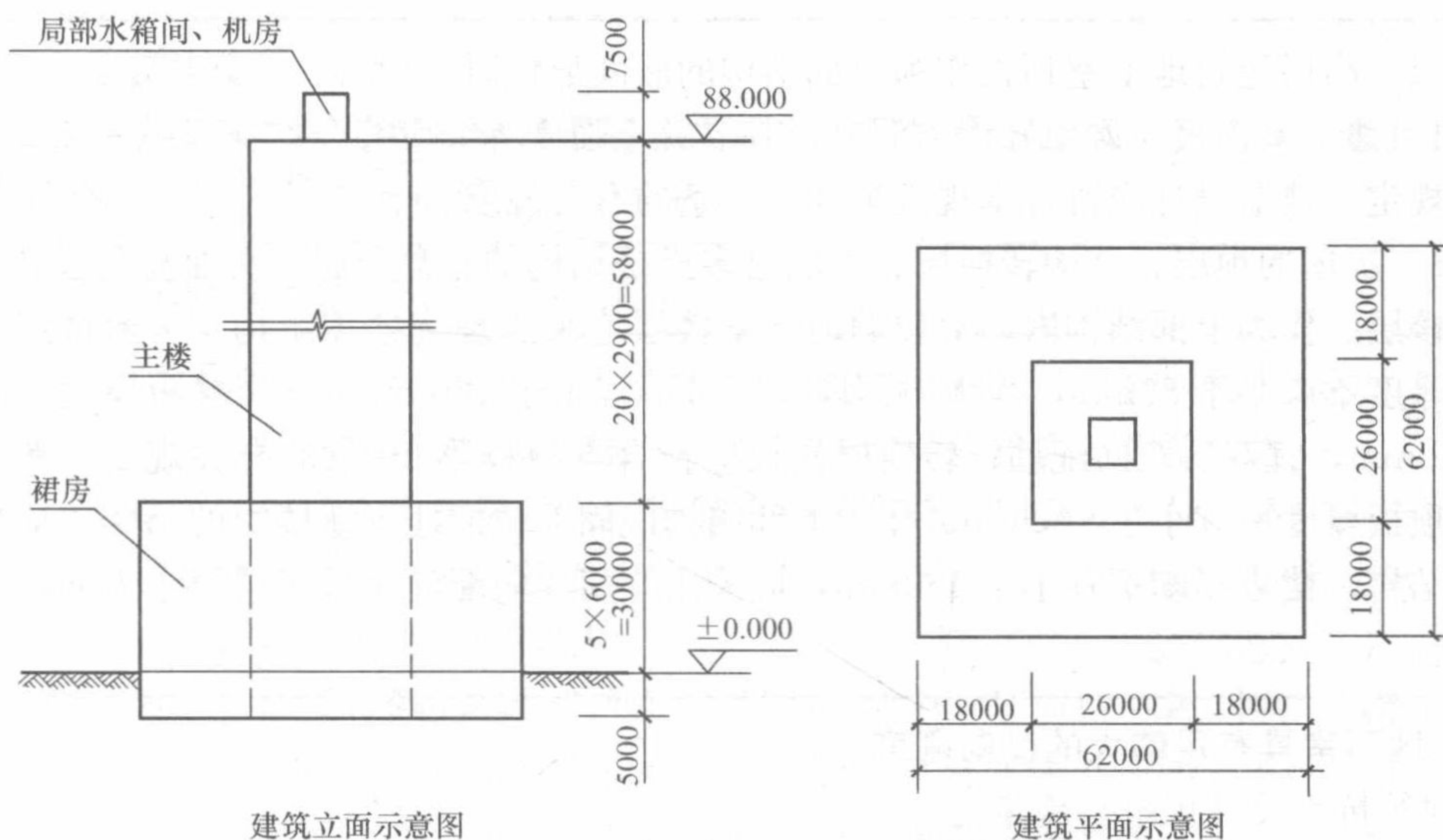


图 4.1.1-2

二、上部结构的嵌固部位

上部结构的嵌固部位，从力学的观点来观察，它的计算简图是一个‘点’或一条‘线’，而且这‘点’或‘线’是绝对固定的、它具备两个基本特点：

- (1) 嵌固部位的水平位移为零；
- (2) 嵌固部位的转角为零。

这种绝对固定的嵌固部位实际工程中是不存在的，实际工程中的嵌固部位是一个区域，只有相对的固定，不是绝对的固定。《规范》规定、当地下室顶板能满足下面所述的三个基本条件时，该地下室顶板就能认为可以作为上部结构的嵌固部位。

1. 地下室顶板有良好的整体性

《建筑抗震设计规范》规定

6.1.14 地下室顶板作为上部结构的嵌固部位时，应符合下列要求：

1 地下室顶板应避免开设大洞口；地下室在地上结构相关范围的顶板应采用现浇梁板结构，相关范围以外的地下室顶板宜采用现浇梁板结构，其楼板厚度不宜小于 180mm，混凝土强度等级不宜小于 C30，应采用双层双向配筋，且每层每个方向的配筋率不宜小于 0.25%。

6.1.14 条文说明为了使地下室顶板作为上部结构的嵌固部位，本条规定了地下室顶板和地下一层的设计要求：

地下室顶板必须具有足够的平面内刚度，以有效传递地震基底剪力。地下室顶板的厚度不宜小于 180mm，若柱网内设置多个次梁时，板厚可适当减小。这里所指地下室应为完整的地下室，在山（坡）地建筑中出现地下室各边填埋深度差异较大时，宜单独设置支挡结构。

《高层建筑混凝土结构技术规程》规定

- 12.2.1 高层建筑地下室顶板作为上部结构的嵌固部位时，应符合下列规定：
1 地下室顶板应避免开设大洞口，其混凝土强度等级应符合本规程第 3.2.2 条的有关规定，楼盖设计应符合本规程第 3.6.3 条的有关规定。
3.6.3 房屋的顶层、结构转换层、大底盘多塔楼结构的底盘顶层、平面复杂或开洞过大的楼层、作为上部结构嵌固部位的地下室楼层应采用现浇楼盖结构。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，宜双层双向配筋；转换层楼板应符合本规程第 10 章的有关规定；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楼盖应采用梁板结构，楼板厚度不宜小于 180mm，应采用双层双向配筋，且每层每个方向的配筋率不宜小于 0.25 %。

2. 地下室具有足够大的侧向刚度
《建筑抗震设计规范》规定

- 6.1.14 地下室顶板作为上部结构的嵌固部位时，应符合下列要求：
2 结构地上一层的侧向刚度，不宜大于相关范围地下一层侧向刚度的 0.5 倍；地下室周边宜有与其顶板相连的抗震墙。

《高层建筑混凝土结构技术规程》规定

- 12.2.1 高层建筑地下室顶板作为上部结构的嵌固部位时，应符合下列规定：
2 地下一层与相邻上层的侧向刚度比应符合本规程第 5.3.7 条的规定。
5.3.7 高层建筑结构整体计算中，当地下室顶板作为上部结构嵌固部位时，地下一层与首层侧向刚度比不宜小于 2。
5.3.7 本条给出作为结构分析模型嵌固部位的刚度要求。计算地下室结构楼层侧向刚度时，可考虑地上结构以外的地下室相关部位的结构，“相关部位”一般指地上结构外扩不超过三跨的地下室范围。楼层侧向刚度比可按本规程附录 E.0.1 条公式计算。

3. 确保塑性铰只能在上部结构的柱根截面出现，地下室梁柱不出现塑性铰

上部结构理想的出铰顺序（以框架结构为例）为：梁端→柱端→柱根。柱根塑性铰是上部结构最后出现的塑性铰，嵌固层梁端、地下室嵌固层柱顶不得出现塑性铰。

《建筑抗震设计规范》规定

- 6.1.14 地下室顶板作为上部结构的嵌固部位时，应符合下列要求：
3 地下室顶板对应于地上框架柱的梁柱节点除应满足抗震计算要求外，尚应符合下列规定之一：
1) 地下一层柱截面每侧纵向钢筋不应小于地上一层柱对应纵向钢筋的 1.1 倍，且地下一层柱上端和节点左右梁端实配的抗震受弯承载力之和应大于地上一层柱下端实配的抗震受弯承载力的 1.3 倍。
2) 地下一层梁刚度较大时，柱截面每侧的纵向钢筋面积应大于地上一层对应柱每侧纵向钢筋面积的 1.1 倍；同时梁端顶面和底面的纵向钢筋面积均应比计

算增大 10% 以上；

4 地下一层抗震墙墙肢端部边缘构件纵向钢筋的截面面积，不应少于地上一层对应墙肢端部边缘构件纵向钢筋的截面面积。

《高层建筑混凝土结构技术规程》规定

12.2.1 高层建筑地下室顶板作为上部结构的嵌固部位时，应符合下列规定：

3 地下室顶板对应于地上框架柱的梁柱节点设计应符合下列要求之一：

1) 地下一层柱截面每侧的纵向钢筋面积除应符合计算要求外，不应少于地上一层对应柱每侧纵向钢筋面积的 1.1 倍；地下一层梁端顶面和底面的纵向钢筋应比计算值增大 10% 采用。

2) 地下一层柱每侧的纵向钢筋面积不小于地上一层对应柱每侧纵向钢筋面积的 1.1 倍且地下室顶板梁柱节点左右梁端截面与下柱上端同一方向实配的受弯承载力之和不小于地上一层对应柱下端实配的受弯承载力的 1.3 倍。

4 地下室与上部对应的剪力墙墙肢端部边缘构件的纵向钢筋截面面积不应小于地上一层对应的剪力墙墙肢边缘构件的纵向钢筋截面面积。

《建筑抗震设计规范》6.1.14 条的“条文说明”对确保塑性铰只能在上部结构的柱根截面出现，地下室梁柱不出现塑性铰的落实讲得更具体。

框架柱嵌固端屈服时，或抗震墙墙肢的嵌固端屈服时，地下一层对应的框架柱或抗震墙墙肢不应屈服。据此规定了地下一层框架柱纵筋面积和墙肢端部纵筋面积的要求。

当框架柱嵌固在地下室顶板时，位于地下室顶板的梁柱节点应按首层柱的下端为“弱柱”设计，即地震时首层柱底屈服、出现塑性铰。为实现首层柱底先屈服的设计概念，本规范提供了两种方法：

其一，按下式复核：

$$\sum M_{\text{bua}} + M_{\text{cua}}^{\text{r}} \geq 1.3M_{\text{cua}}^{\text{b}}$$

式中 $\sum M_{\text{bua}}$ ——节点左右梁端截面反时针或顺时针方向实配的正截面抗震受弯承载力所对应的弯矩值之和，根据实配钢筋面积（计入梁受压筋和相关楼板钢筋）和材料强度标准值确定；

$\sum M_{\text{cua}}^{\text{r}}$ ——地下室柱上端与梁端受弯承载力同一方向实配的正截面抗震受弯承载力所对应的弯矩值，应根据轴力设计值、实配钢筋面积和材料强度标准值等确定

$\sum M_{\text{cua}}^{\text{b}}$ ——地上一层柱下端与梁端受弯承载力不同方向实配的正截面抗震受弯承载力所对应弯矩值，应根据轴力设计值、实配钢筋面积和材料强度标准值等确定。

设计时，梁柱纵向钢筋增加的比例也可不同，但柱的纵向钢筋至少比地上结构柱下端的钢筋增加 10%。

其二，作为简化，当梁按计算分配的弯矩接近柱的弯矩时，地下室顶板的柱上端、梁顶面和梁底面的纵向钢筋均增加 10% 以上。可满足上式的要求。

【例 4.1.2-1】 上部结构嵌固端的位置

条件：有一框架结构，地下2层，地上6层，地下1层为车库。已知地下室柱纵向钢筋配筋均比地上柱配筋大10%；地下室±0.000处顶板厚180mm，混凝土强度等级C30，采用双层双向配筋，配筋率为0.25%；楼层的侧向刚度比 $K_{-1}/K_1 = 2.2$ ， $K_{-1}/K_{-2} = 1.0$ ，此处、 K_1 、 K_{-1} 、 K_{-2} 分别为地上首层、地下一层和地下二层的楼层侧向刚度。

要求：判断地下室顶板能否作为上部结构嵌固端的位置。

【答案】根据《建筑抗震设计规范》6.1.14条，地下室顶板作为上部结构的嵌固部位时，其楼板厚度不宜小于180mm，混凝土强度等级不宜小于C30，应采用双层双向配筋，地下室结构的楼层侧向刚度不宜小于相邻上部楼层侧向刚度的2倍。

(1) 地下室±0.000处顶板厚180mm，地下室柱配筋均比地上柱配筋大20%，混凝土C30，采用双向双层钢筋网， $\rho = 0.25\%$ ，符合《建筑抗震设计规范》6.1.14条1款的要求。

(2) 地下室结构的楼层侧向刚度 K_{-1} ，与相邻上都楼层侧向刚度 K_1 的比值 $K_{-1}/K_1 = 2.2 > 2.0$ ，符合《建筑抗震设计规范》6.1.14条2款的要求。

(3) 上部结构嵌固端的位置取在地下室顶面（标高±0.000处）。

【例 4.1.2-2】 板厚 h 及板上、下层的配筋。

条件：某现浇钢筋混凝土高层建筑，抗震设防烈度8度，丙类建筑，设计地震分组为第一组，平面尺寸为25m×50m，房屋高度为102m，质量和刚度沿竖向分布均匀。采用刚性好的筏板基础，地下室顶板（±0.000）作为上部结构的嵌固端。地下室顶板采用梁板结构，混凝土强度等级为C30。 x 向主梁间距8.4m， y 向次梁间距3m。上、下层钢筋间距@均为200mm。

要求：板厚 h 及板上、下层的配筋。

【答案】根据《高层建筑混凝土结构技术规程》12.2.1条和3.6.3条， $h = 180\text{mm}$ 。双层双向配筋，每向最小配筋， $0.25\% \times 180 \times 200\text{mm}^2 = 90\text{mm}^2$ ，取 $\Phi 12$ ， $A_s = 113.1\text{mm}^2 > 90\text{mm}^2$

【例 4.1.2-3】 地下一层柱纵向钢筋的数量

条件：某现浇钢筋混凝土框架结构，地下2层，地上12层，抗震设防烈度为7度，抗震等级二级，地下室顶板为嵌固端。混凝土采用C35级、钢筋采用HRB400（ Φ ）。假定地上一层框架某中柱的纵向钢筋的配置如图4.1.2-1所示，每侧纵筋计算面积 $A_s = 985\text{mm}^2$ ，实配4 $\Phi 18$ ，满足构造要求。现将其延伸至地下一层，截面尺寸不变，每侧纵筋的计算面积为地上一层柱每侧纵筋计算面积的0.88倍。

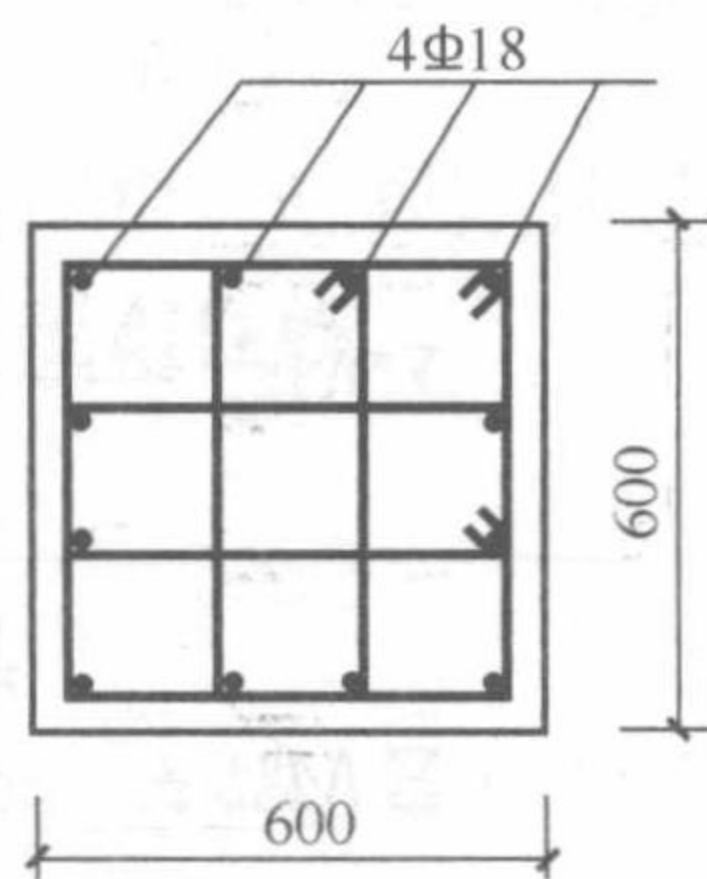


图 4.1.2-1

要求：延伸至地下一层后的中柱，其截面中全部纵向钢筋的数量。

【答案】根据《高层建筑混凝土结构技术规程》12.2.1条，地下一层每侧纵筋的计算面积除应符合计算要求外，不应少于地上一层对应柱每侧纵向钢筋面积的1.1倍； $A_s = 1.1 \times 985\text{mm}^2 = 1084\text{mm}^2$ ，实配4 $\Phi 20$ 。截面中全部纵向钢筋的数量12 $\Phi 20$ 。

【例 4.1.2-4】 高层建筑结构计算中，地下室顶板作为上部结构嵌固部位时，下列何