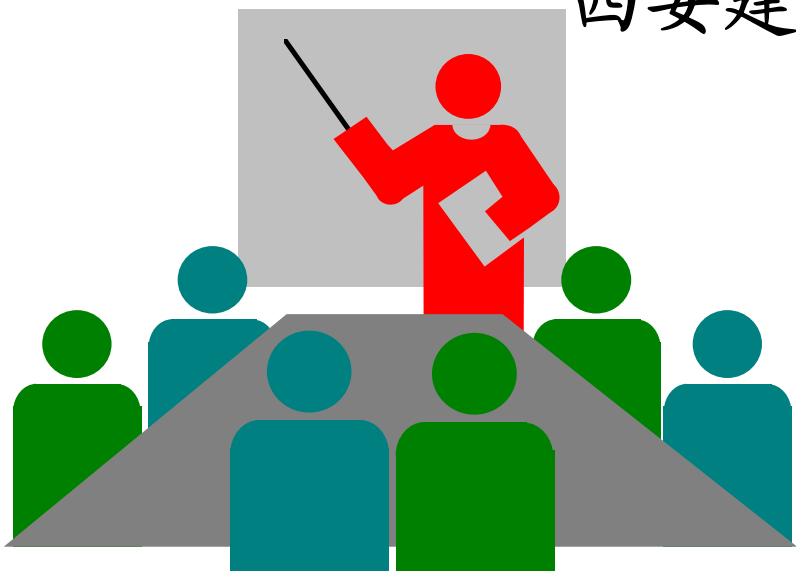




高层建筑结构设计

第8章 筒体结构设计

西安建筑科技大学：史庆轩





主要内容:

- 8.1 框筒、筒中筒和束筒结构的布置
- 8.2 框架核心筒结构的布置
- 8.3 筒体结构计算方法
- 8.4 截面设计及构造要求



8.1 框筒、筒中筒和束筒结构的布置

这类结构体系具有很大的抗侧和抗扭刚度，适用于超高层建筑，其结构布置除符合一般原则外，主要考虑减小剪力滞后作用。

- (1) 结构平面以正多边形为最佳，且边数越多性能越好，剪力滞后现象越不明显，空间作用越大。
- 平面形状以采用圆形和正多边形最为有利。也可采用椭圆形或矩形等其他形状。
- 当采用矩形平面时，其平面尺寸应尽量接近于正方形，长宽比不宜大于 2。
- 三角形平面宜切角，外筒的切角长度不宜小于相应边长的 $1/8$ ，其角部可设置刚度较大的角柱或角筒，切角处的筒壁宜适当加厚。



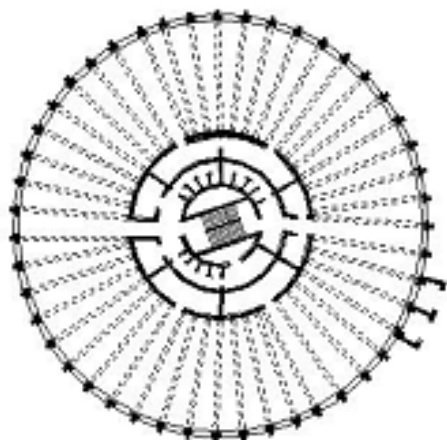
- (2) 结构高宽比不应小于3，并宜大于4，其适用高度不宜低于60m，以充分发挥筒体结构的作用；
- (3) 筒中筒结构的外框筒宜做成密柱深梁，一般情况下，柱距为1~3m，不宜大于4；框筒梁的截面高度取柱净距1/4左右。开孔率(重要参数之一)不宜大于60%，且洞口高宽比尽量和层高与柱距之比相似。若密柱深梁的效果不足，可沿结构高度，选择适当的楼层，设置加强层以减小剪力滞后。
- (4) 柱截面宜做成正方形、矩形或T形。
- 若为矩形截面，截面长边应与腹板框架方向一致。
 - 角部是联系两个方向协同工作的重要部位，受力大，通常采取加强措施；内筒角部可采用局部加厚等措施，外筒可加大角柱截面，以承受较大的轴力，减小压缩变形；角柱面积宜取中柱面积的1~2倍。
 - 角柱面积过大，会加大剪力滞后现象，使角柱产生过大的轴力，当重力荷载不足时角柱将承受拉力。



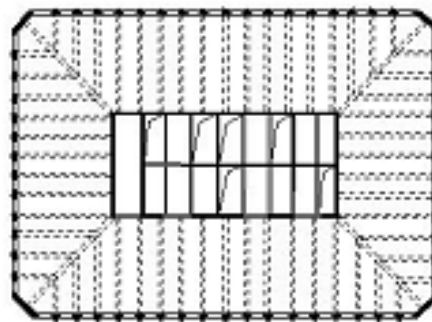
- (5)筒中筒结构的内筒宜居中，面积不宜太小，其边长可取高度的 $1/12\sim 1/15$ ，也可取外筒边长的 $1/2\sim 1/3$ ，其高宽比一般约为12，不宜大于15。内筒应贯通全高，竖向刚度均匀变化；内筒与外筒间距，非抗震设计时宜大于12，抗震设计时宜大于10，宜采用预应力混凝土楼盖，必要时可增设内柱。
- (6)框筒结构因建筑功能需要，在底层要求加大柱距，此时必须布置转换结构(见第9章)，其功能是将上部柱荷载传至下部大柱距的柱子上。一般内筒应一直贯通到基础底板。
- (7)楼盖构件的高度不宜太大，尽量减小楼盖构件与柱之间的弯矩传递，楼盖做成平板或密肋楼盖或预应力楼盖。采用钢楼盖时可将楼板梁与柱的连接处理成铰接；框筒或束筒结构可设置内柱，以减小楼盖梁的跨度，内柱只承受竖向荷载而不参与抵抗水平荷载。



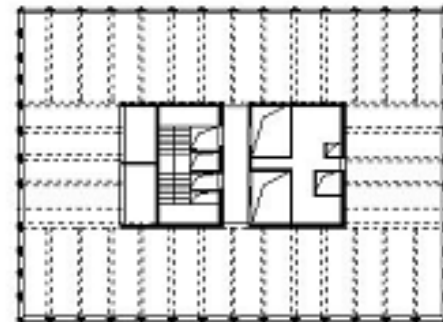
采用普通梁板体系时，楼面梁的布置方式一般沿内、外筒单向布置。外端与框筒柱一一对应；内端支承在内筒墙上，最好在平面外有墙相接，以增强内筒在支承处的平面外抵抗力；角区楼板的布置，宜使角柱承受较大竖向荷载，以平衡角柱中的拉力双向受力。典型布置如图。



(a)



(b)



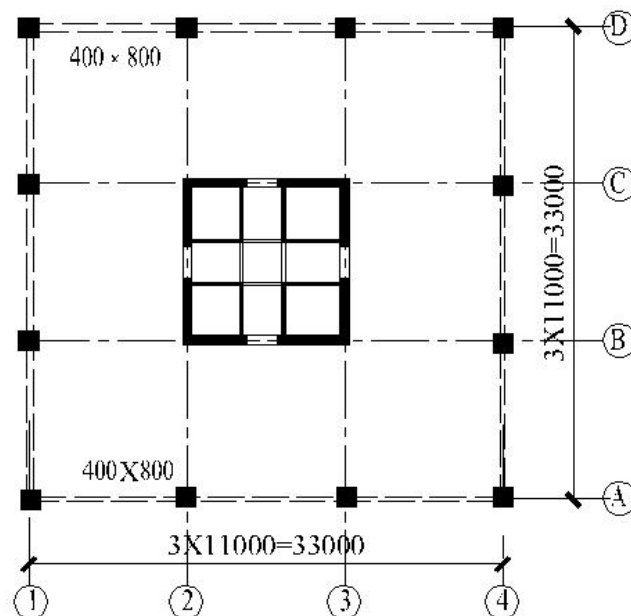
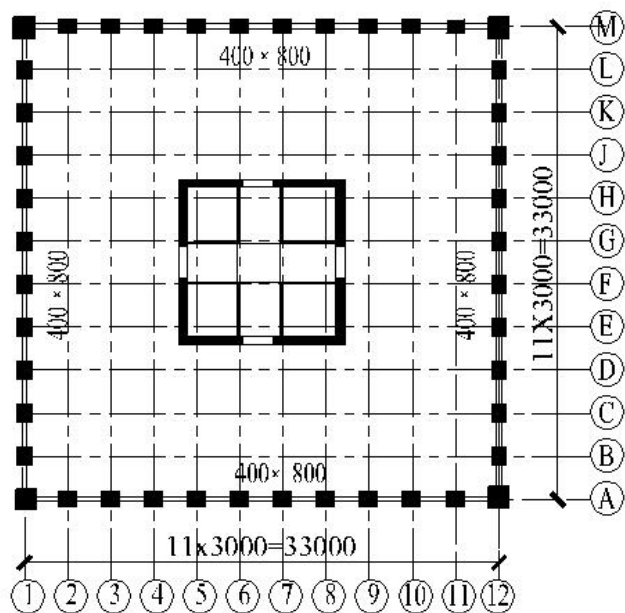
(c)



8.2 框架核心筒结构的布置

8.2.1 框架-核心筒结构的受力特点

当实腹筒布置在周边框架内部时，形成框架-核心筒结构，是目前高层建筑中广为应用的一种体系，它与筒中筒结构在平面形式上可能相似(图)，但受力性能却有很大区别。



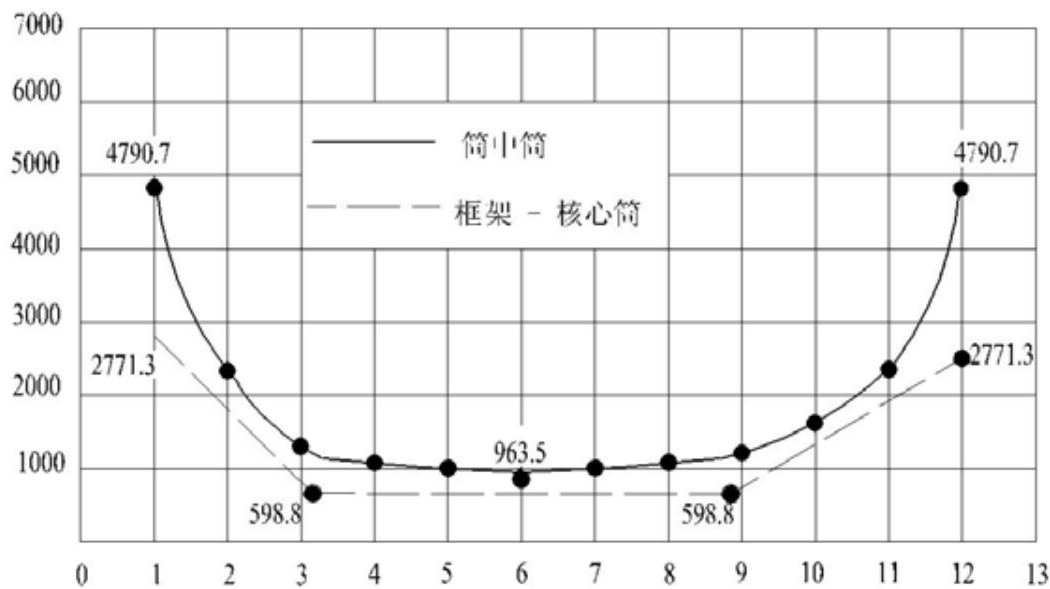


对框筒结构，由于空间作用，在水平荷载下其翼缘框架柱承受很大的轴力；当柱距加大，裙梁跨高比加大时，剪力滞后加重，柱轴力将随框架柱距的加大而减小，即对柱距较大的“稀柱筒体”，翼缘框架柱仍然会产生一些轴力，存在一定的空间作用。但当柱距增大到与普通框架相似时，除角柱外，其它柱的轴力将很小，由量变到质变，通常就可忽略沿翼缘框架传递轴力的作用，按平面结构进行分析。

框架-核心筒结构，因为有实腹筒，我国《高规》将其归入筒体结构，但就其受力性能来说，框架-核心筒结构更接近于框-剪结构，与筒中筒结构有很大的区别。



图示筒中筒结构和框架-核心筒结构，结构参数均相同。由图可知，框架-核心筒的翼缘框架柱轴力小，翼缘框架承受的总轴力要比框筒小得多，轴力形成的抗倾覆力矩也小；框架-核心筒结构主要是由①、④轴两片框架(腹板框架)和实腹筒协同工作抵抗侧力，角柱作为①、④轴两片框架的边柱而轴力较大；从①、④轴框架抗侧刚度、抗弯、抗剪能力看，也比框筒的腹板框架小得多。





顶点位移与自振周期的比较表明，框架-核心筒结构的自振周期长，顶点位移及层间位移都大，说明框架-核心筒结构的抗侧刚度远小于筒中筒结构。

表 8.1 筒中筒结构与框架-核心筒结构抗侧刚度比较

结构体系	周期 (s)	顶点位移		最大层间位移
		$u_t (mm)$	u_t / H	$\Delta u / h$
筒中筒	3.87	70.78	1/2642	1/2106
框架-核心筒	6.65	219.49	1/852	1/647



计算表明，框架-核心筒结构的实腹筒承受的剪力占总剪力的80.6%，倾覆力矩占73.6%，比筒中筒的实腹筒承受的剪力和倾覆力矩所占比例都大；筒中筒结构的外框筒承受的倾覆力矩占66%，而框架-核心筒结构中，外框架承受的倾覆力矩仅占26.4%。说明框架-核心筒结构中实腹筒成为主要抗侧力部分，而筒中筒结构中抵抗剪力以实腹筒为主，抵抗倾覆力矩则以外框筒为主。

表 8.2 筒中筒结构与框架-核心筒结构内力分配比较 (%)

结构体系	基底剪力		倾覆弯矩	
	实腹筒	周边框架	实腹筒	周边框架
筒中筒	72.6	27.4	34.0	66.0
框架-核心筒	80.6	19.4	73.6	26.4

第2章 筒体结构设计



框架-核心筒结构，翼缘框架中间两根柱子的轴力不大。提高中间柱的轴力、从而提高其抗倾覆力矩的方法之一是在楼板中设置连接外柱与内筒的大梁（加强层）。

框架-核心筒结构，采用平板体系时，翼缘框架中间柱的轴力很小，而采用梁板体系时，翼缘框架中间柱的轴力反而比角柱更大；这种体系中，②、③轴框-剪抗侧刚度大大超过①、④轴框架，边柱的轴力也相应增大。即设置楼板大梁的框架-核心筒结构传力体系与框-剪结构类似。

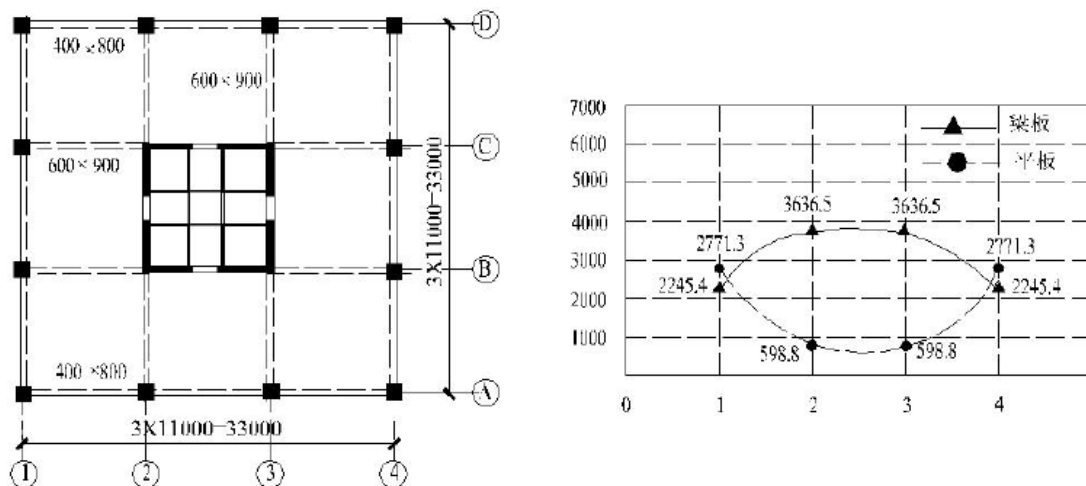


图 8.2.3 框架-核心筒结构翼缘框架轴力分布比较



8.2.2 框架-核心筒结构的布置

这种结构体系由于柱数量少，内力大，通常柱的截面都很大，为减小柱截面，常采用钢或钢骨混凝土、钢管混凝土等构件做成框架的柱和梁，与实腹筒结合，就形成了混合结构。

其结构布置除符合一般布置原则外，还应遵循以下原则：

- (1) 核心筒是主要抗侧力单元，承载力和延性要求都应更高，应采取措施提高其延性。核心筒宜贯全高。核心筒的宽度不宜小于筒体总高的 $1/12$ 。
- (2) 核心筒应具有良好的整体性，墙肢宜均匀、对称布置；筒体角部附近不宜开洞；核心筒的连梁，宜通过配置交叉暗撑、设水平缝或减小梁截面的高宽比等措施来提高连梁的延性。当延性要求较高时，可采用钢骨混凝土核心筒。



(3) 框架-核心筒结构对形状没有限制，框架柱距大，布置灵活，有利于建筑立面多样化。结构平面布置尽可能规则、对称，以减小扭转影响，质量分布宜均匀，内筒尽可能居中；核心筒与外柱之间距离一般以10~12m为宜。沿竖向结构刚度应连续，避免刚度突变。

(4) 框架-核心筒结构中，框架承受的剪力和倾覆力矩都较小。为实现双重抗侧力结构体系，外框架构件的截面不宜过小；对钢-混凝土混合结构，要求外框架承受的层剪力应达到总层剪力的(20~25%)；由于外钢框架柱截面小，达到这个比例比较困难，因此，这种结构的总高度不宜太大。此时，可采用钢骨混凝土、钢管混凝土柱。



(5) 抗风结构采用伸臂加强结构是有利的，抗震结构则应进行仔细的方案比较，不设伸臂能满足侧移要求时就不设置伸臂，必须设置伸臂时，应处理好框架柱与核心筒的内力突变，要避免柱出塑性铰或剪力墙破坏等形成薄弱层的潜在危险。

(6) 楼盖宜选用结构高度小、整体性强、结构自重轻及有利于施工的楼盖结构形式。因此，宜选用现浇梁板式楼板，也可选用密肋式楼板、无粘结预应力混凝土平板，以及预制预应力薄板加现浇层的叠合楼板。



8.3 筒体结构计算方法

筒体结构由于薄壁筒和框筒都有剪力滞后现象，受力复杂。为保证计算精度，应采用能反映空间受力的结构计算模型和三维空间分析方法，通过计算机进行内力和位移分析。本节主要介绍几个简化的手算方法，适用于方案阶段估算。

8.3.1 等效槽形截面近似估算方法

水平荷载下，框筒结构有明显的剪力滞后现象，翼缘框架只在靠近腹板框架处轴力大，柱发挥其受力作用；靠中间的柱受力较小，不能充分发挥其作用。因此可将翼缘框架的一部分作为腹板框架的有效翼缘，不考虑中部框筒柱的作用，从而框筒结构可化为两个等效槽形截面（图）。

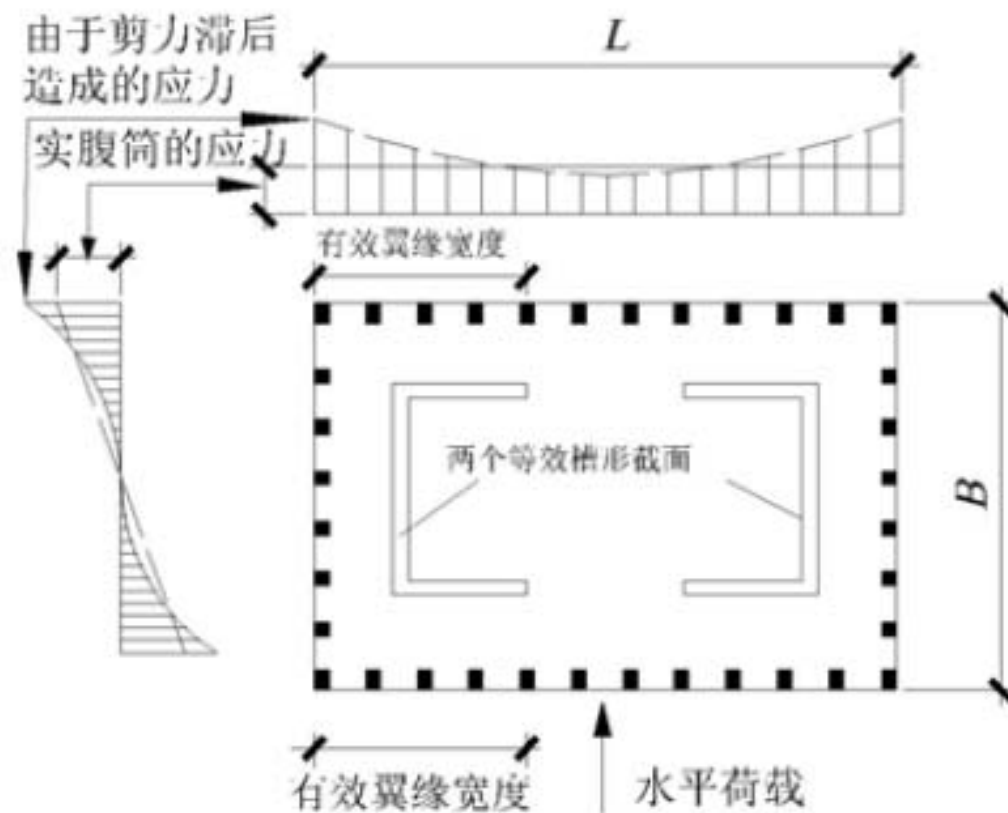


图 8.3.1 等效槽形截面

等效槽形截面的翼缘有效宽度取下列三者的最小值：框筒腹板
框架宽度的 $1/2$ ，框筒翼缘框架宽度的 $1/3$ ，框筒总高度的 $1/10$ 。



按照材料力学组合截面惯性矩的计算方法，计算等效槽形截面的弯曲刚度：

$$I_e = \sum_{j=1}^m I_{cj} + \sum_{j=1}^m A_{cj} y_j^2$$

把框筒作为整体弯曲的双槽形截面悬臂梁，可得槽形截面范围内柱和裙梁的内力计算公式

$$N_{cj} = \frac{My_{cj}A_{cj}}{I_e}$$

$$V_{bj} = \frac{VSh}{I_e}$$

根据梁的剪力，并假定反弯点在梁净跨度的中点，可求得柱边缘处梁端截面的弯矩。



8.3.2 等效平面框架法—翼缘展开法

该法适用于矩形平面的框筒结构计算，将空间问题转化为平面问题，利用平面框架的有限元程序进行分析。

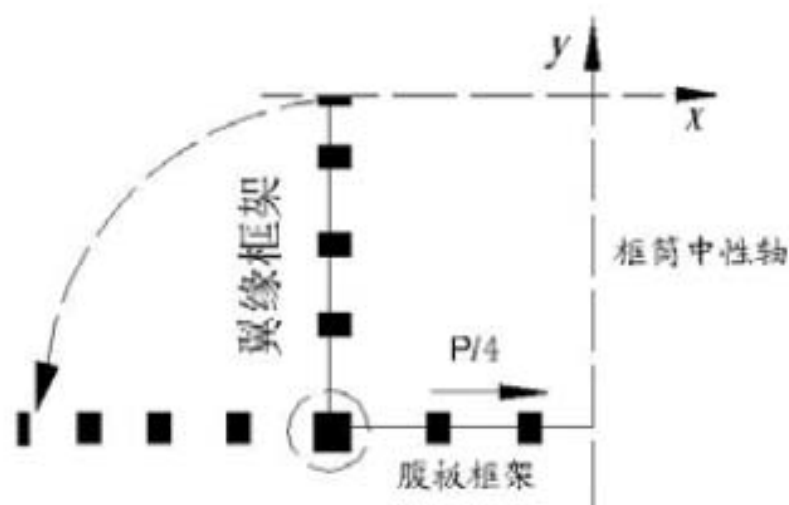
根据框筒结构的受力特点，可采用如下两点基本假定：

- (1) 对各榀平面单元，只考虑单元平面内的刚度，略去其平面外的刚度。
- (2) 楼盖在其自身平面内的刚度为无穷大，各层楼板在水平面内作平面运动（产生水平移动或绕竖轴转动）。

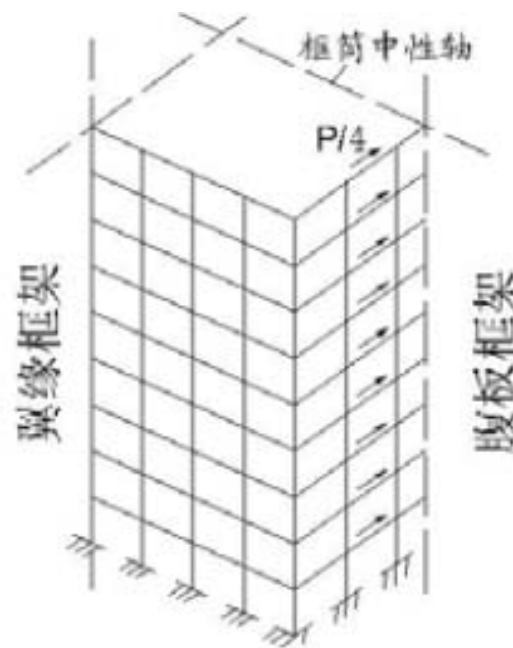
第2章 筒体结构设计



在水平力作用下，对有对称轴的矩形框筒结构，可取其1/4进行计算，水平荷载也按1/4作用于半个腹板框架上。按计算假定，不考虑框架的平面外刚度。在对称荷载下，翼缘框架在自身平面内没有水平位移。因此，可把翼缘框架绕角柱转90°角，使与腹板框架处于同一平面内，以形成等效平面框架体系，进行内力和位移的计算。

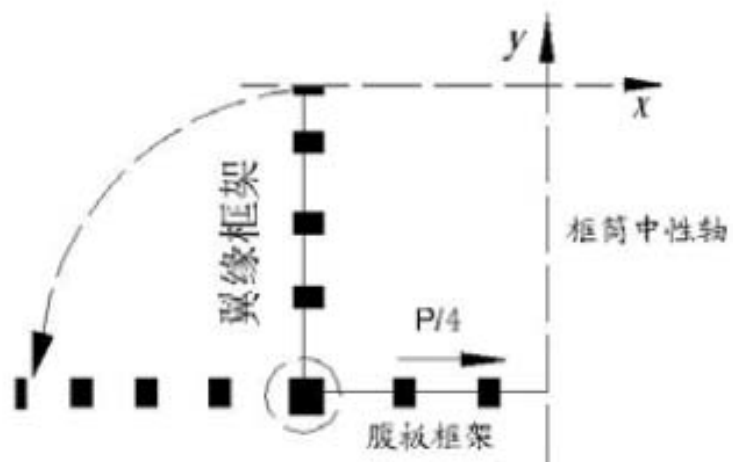


(a)

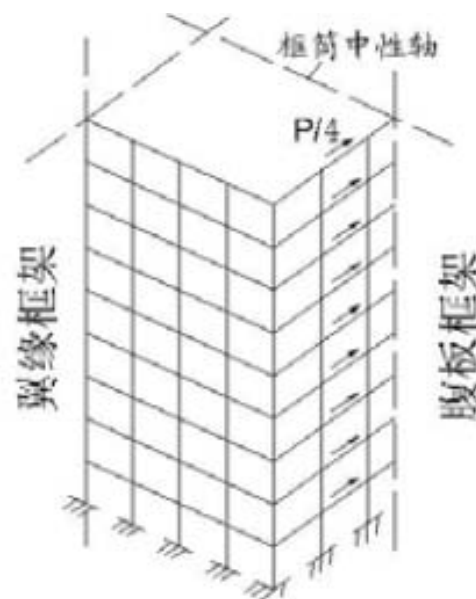


(b)

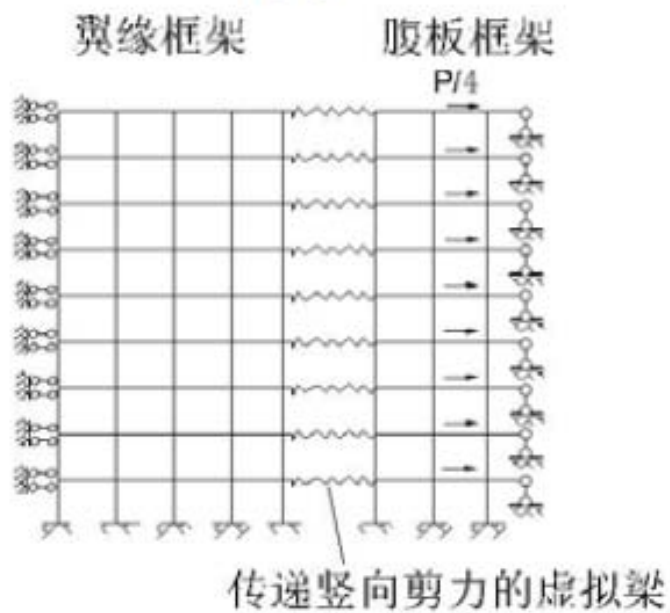
第2章 筒体结构设计



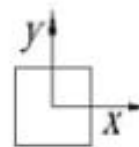
(a)



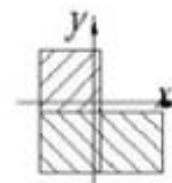
(b)



(c)



矩形角柱



L形角柱

(d)





由于翼缘和腹板框架间的公用角柱为双向弯曲，故在等效平面框架中，须将角柱分为两个，一个在翼缘框架中，另一个在腹板框架中。为保证翼缘框架和腹板框架间竖向力的传递及竖向位移的协调，在每层梁处各设置一个只传递竖向剪力的虚拟梁，虚拟梁的抗剪刚度系数取一个非常大的数值，其弯曲和轴向拉压刚度系数取为零。在翼缘框架的对称线上沿框架高度各节点无转角，但有竖向位移，故在翼缘框架位于对称轴上的节点处，应附加定向支座；而在腹板框架的对称线上沿框架高度各节点有水平位移和转角，无竖向位移，故应设置竖向支承链杆。



建立起1/4框筒的等效平面框架，可按平面框架适方法求解。如用矩阵位移法计算时，因框筒由深梁和宽柱组成，梁和柱应按两端带刚域的杆件，建立单元刚度矩阵，再建立总刚度矩阵，然后用聚缩自由度的方法，求出只对应于腹板框架节点水平位移的侧向刚度矩阵求解。



8.3.3 空间杆系-薄壁柱矩阵位移法

该法属于较精确的三维空间分析方法，即空间杆系-薄壁柱矩阵位移法。该法将框筒的梁、柱简化为带刚域杆件，按空间杆系方法求解，每个结点有6个自由度，单元刚度矩阵为12阶；将内筒视为薄壁杆件，考虑其截面翘曲变形，每个杆端有7个自由度，比普通空间杆件单元增加了双力矩所产生的扭转角，单元刚度矩阵为14阶。

外筒与内筒通过楼板连接协同工作，假定楼板为平面内无限刚性，忽略其平面外刚度。其作用是保证内外筒具有相同的水平位移，而楼板与筒之间无弯矩传递关系。

该法的优点是可以分析梁柱为任意布置的空间结构，可以分析平面为非对称的结构和荷载，并可获得薄壁柱（内筒）受约束扭转引起的翘曲应力。



空间薄壁杆件

每个结点要增加一个翘曲自由度（即扭转角 ω_{θ} ），共有7个自由度（图）。截面翘曲自由度对应着截面上的第七个内力——双力矩，对剪力墙构件，但由于截面大，截面翘曲在翼缘上产生正应力——翘曲正应力，这些正应力总合力为零，总合力矩也为零，但在截面许多部位其应力都不为零。为考虑薄壁杆件受扭时的这一特点，引入截面翘曲自由度及其对应的内力——双力矩，其中双力矩以力矩 M 乘以其距离 l 来表示。

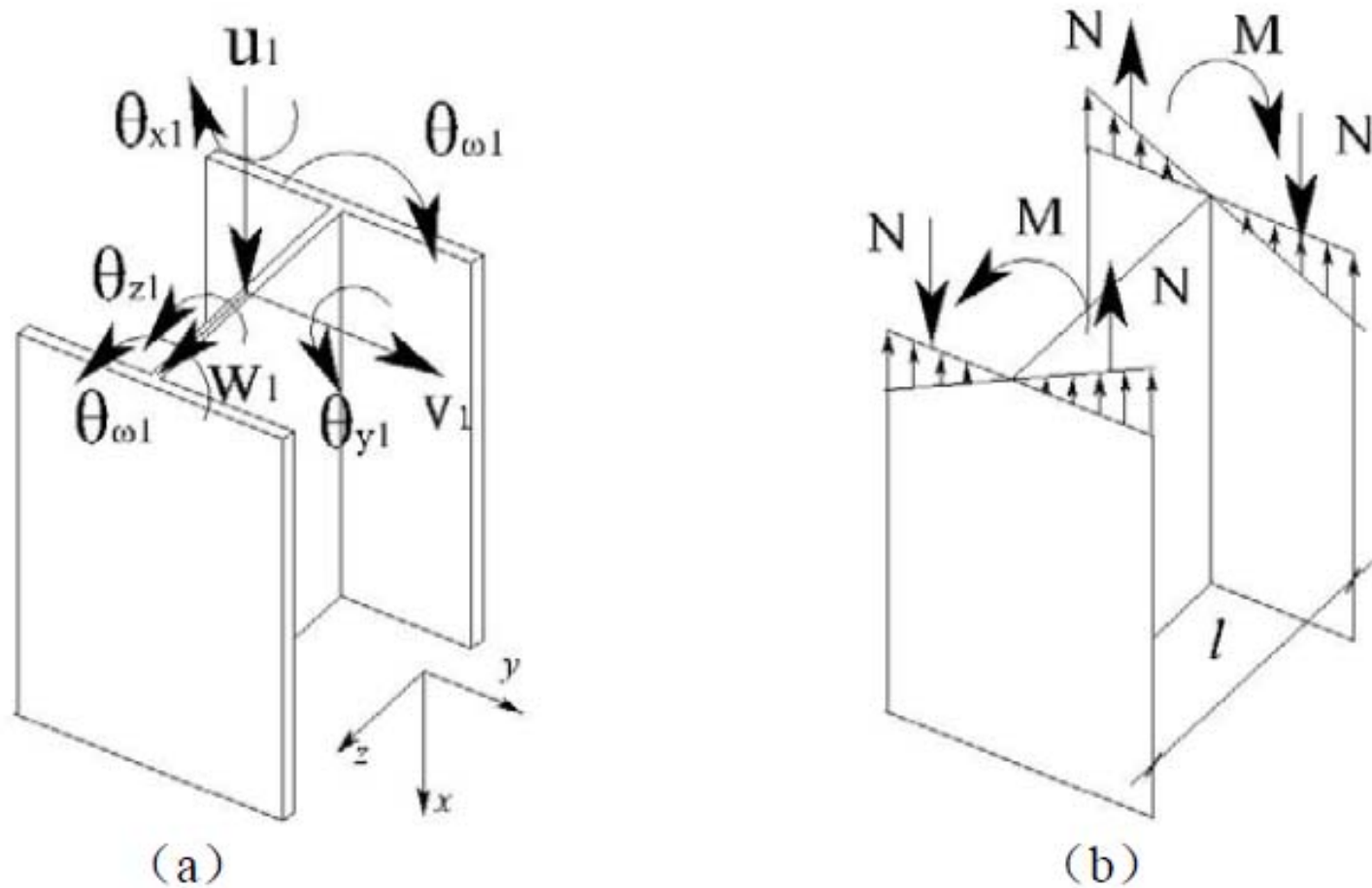


图 11.2.2 薄壁空间杆件及双力矩示意图



谢谢大家！

