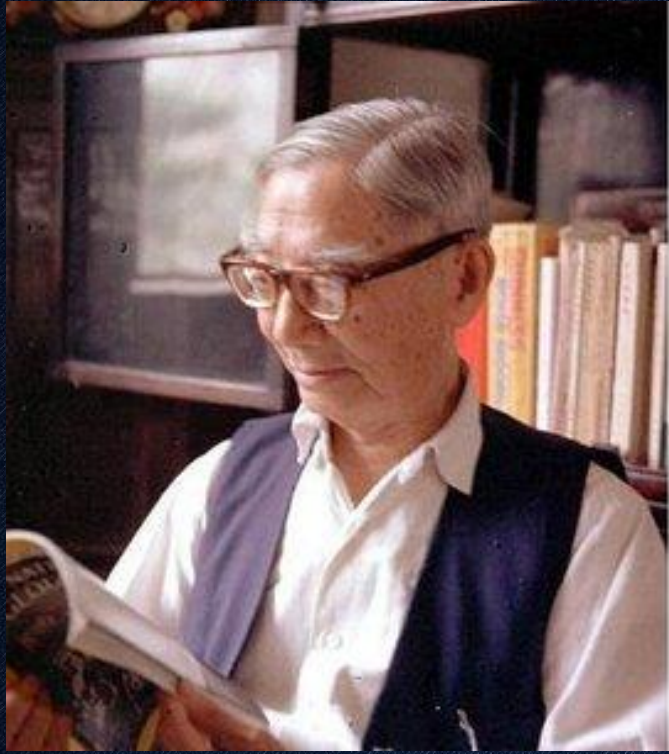


国家开放大学土木工程专业” 混凝土结构设计原理 “课程

工程师眼中的柱

—— 钢筋混凝土轴心受压柱的力学分析与设计



茅以升 (1896-1989), 土木工程学家、桥梁专家、工程教育家, 主持修建中国第一座现代化大桥——钱塘江大桥。

柱子孤零零地站在地上，四面无依无靠，上面负担着房顶或者楼板上的重量，下面很牢靠地在地底下生根。它是长长的、笔直的、而且上下一般粗的。它把上面房顶或者楼板的重量传送到下面的土地中。

它在房屋建筑里起着骨干作用，所有它上面的重量，不管多大，都由它包下来，由它负责，很好地传达到地面。

房屋里有了柱子，有它顶住上面的东西，我们就可以安心地在下面读书或工作，它是把方便让与别人，把困难留给自己啊！

——摘自茅以升《为什么看不见柱子》

柱子孤零零地站在地上，四面无依无靠，上面负担着房顶或者楼板上的重量，下面很牢靠地在地底下生根。它是长长的、笔直的、而且上下一般粗的。它把上面房顶或者楼板的重量传送到下面的土地中。

它在房屋建筑里起着骨干作用，所有它上面的重量，不管多大，都由它包下来，由它负责，很好地传达到地面。

房屋里有了柱子，有它顶住上面的东西，我们就可以安心地在下面读书或工作，它是把方便让与别人，把困难留给自己啊！

——摘自茅以升《为什么看不见柱子》

柱子孤零零地站在地上，四面无依无靠，上面负担着房顶或者楼板上的重量，下面很牢靠地在地底下生根。它是长长的、笔直的、而且上下一般粗的。它把上面房顶或者楼板的重量传送到下面的土地中。

它在房屋建筑里起着骨干作用，所有它上面的重量，不管多大，都由它包下来，由它负责，很好地传达到地面。

房屋里有了柱子，有它顶住上面的东西，我们就可以安心地在下面读书或工作，它是把方便让与别人，把困难留给自己啊！

——摘自茅以升《为什么看不见柱子》

柱子孤零零地站在地上，四面无依无靠，上面负担着房顶或者楼板上的重量，下面很牢靠地在地底下生根。它是长长的、笔直的、而且上下一般粗的。它把上面房顶或者楼板的重量传送到下面的土地中。

它在房屋建筑里起着骨干作用，所有它上面的重量，不管多大，都由它包下来，由它负责，很好地传达到地面。

房屋里有了柱子，有它顶住上面的东西，我们就可以安心地在下面读书或工作，它是把方便让给别人，把困难留给自己啊！

——摘自茅以升《为什么看不见柱子》

柱子孤零零地站在地上，四面无依无靠，上面负担着房顶或者楼板上的重量，下面很牢靠地在地底下生根。它是长长的、笔直的、而且上下一般粗的。它把上面房顶或者楼板的重量传送到下面的土地中。

它在房屋建筑里起着骨干作用，所有它上面的重量，不管多大，都由它包下来，由它负责，很好地传达到地面。

房屋里有了柱子，有它顶住上面的东西，我们就可以安心地在下面读书或工作，它是把方便让与别人，把困难留给自己啊！

——摘自茅以升《为什么看不见柱子》

一、怎样设计柱子

我们从茅以升先生的讲述中清楚了柱子的传力过程、作用和功能，那么工程师要设计这样的柱子，**他最先考虑的问题是什么？**



柱子的设计目标



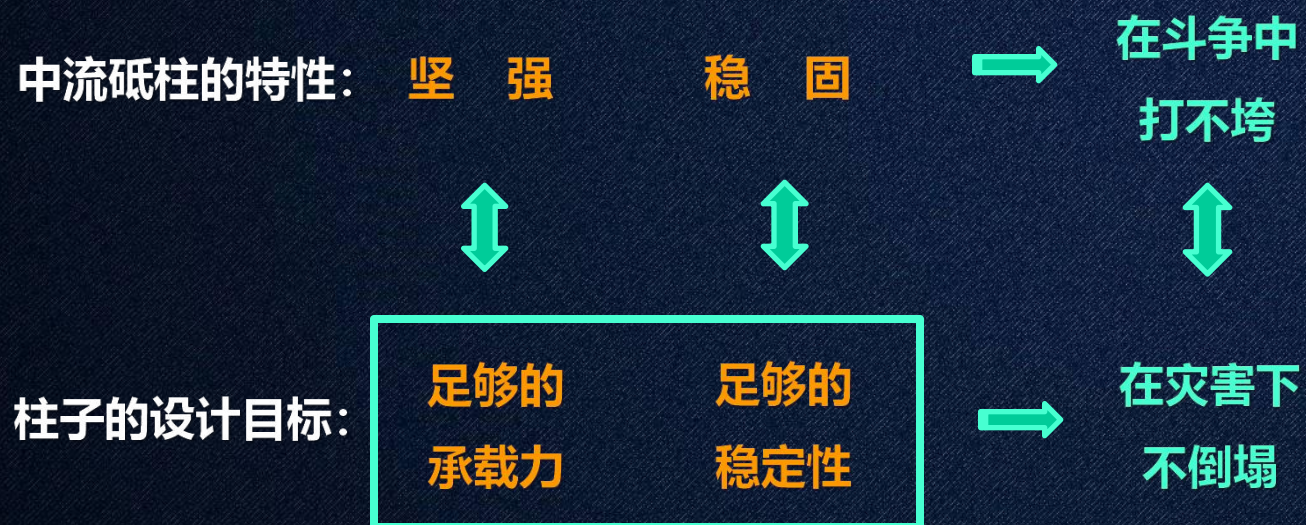
柱子的特性

柱子有什么特性？



中国共产党的中流砥柱作用是中国人民抗日战争胜利的关键。

——摘自习近平在纪念中国人民抗日战争暨世界反法西斯战争胜利69周年座谈会上的讲话



在清楚了柱子的设计目标之后，在工程师的意识里，
接下来他会关心什么？

◆ 选用什么样的材料？

(钢筋混凝土、钢材、砌体、木材等)

◆ 选用什么样的横截面形式？

(矩形、圆形、工字型、十字型等)

在清楚了柱子的设计目标之后，在工程师的意识里，
接下来他会关心什么？

◆ **受力性能怎么样？能否提供足够的承载力和稳定性？**

(做试验！对柱子的受力破坏现象进行定性分析和
定量评价)

◆ **怎么进行设计计算？**

(在受力性能分析和评价的基础上，提出设计计算
方法，最终解决材料具体用多少、截面具体尺寸
是多少等问题)

在清楚了柱子的设计目标之后，在工程师的意识里，
接下来他会关心什么？

◆ 选用什么样的材料？

◆ 选用什么样的横截面形式？

◆ 受力性能怎么样？能否提供足够的承载力和稳定性？

◆ 怎么进行设计计算？

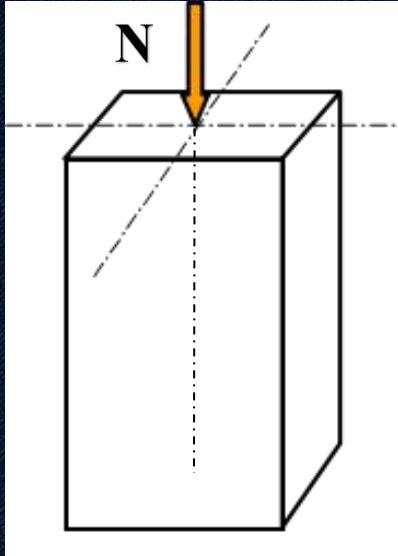
一、怎样设计柱子

二、钢筋混凝土轴心受压柱的受力性能

二、钢筋混凝土轴心受压柱的受力性能

(一) 什么是轴心受压柱？它在受力上有什么特点？

(一) 什么是轴心受压柱？它在受力上有什么特点？



特点一：轴向压力 N 作用在柱子的形心轴上

特点二：柱子任意一个横截面上受力状态都相同

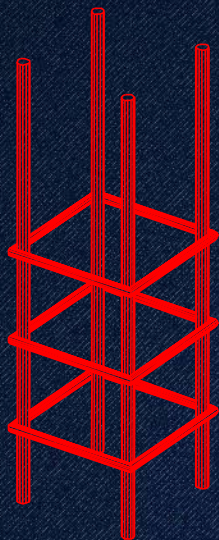
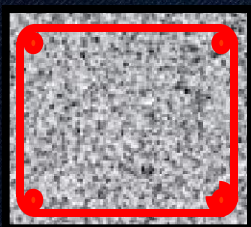
特点三：柱子的承载力就等于截面承载力

二、钢筋混凝土轴心受压柱的受力性能

(一) 什么是轴心受压柱？它在受力上有什么特点？

(二) 钢筋混凝土轴心受压柱截面承载力 N_u 的计算

(二) 钢筋混凝土轴心受压柱截面承载力 N_u 的计算



$N_u =$ 混凝土提供的承载力 + 钢筋提供的承载力



$$N_u = f_c A + f_y' A_s'$$

推论：只要材料和截面完全相同的轴心受压柱，柱的受压承载力都是相同的。



二、钢筋混凝土轴心受压柱的受力性能

(一) 什么是轴心受压柱？它在受力上有什么特点？

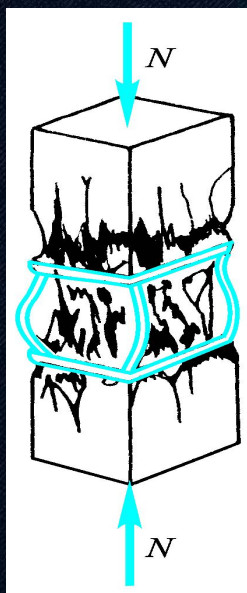
(二) 钢筋混凝土轴心受压柱截面承载力 N_u 的计算

(三) 钢筋混凝土轴心受压柱的试验现象和结果分析

(三) 钢筋混凝土轴心受压柱的试验现象和结果分析

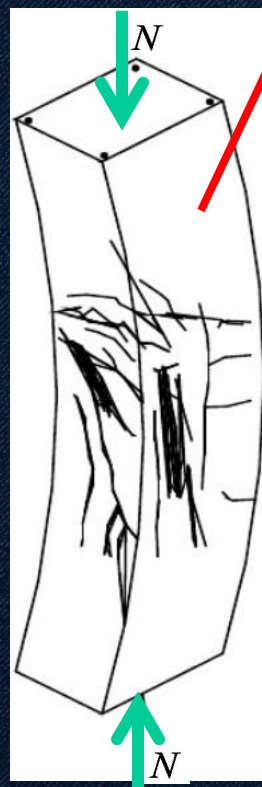
1. 破坏特征的比较

1. 破坏特征的比较



短柱

破坏时，混凝土压碎，纵筋压弯、外鼓呈灯笼状。（材料破坏）



长柱

破坏时，一边凸起，一边凹进，凸边出现横向裂缝，混凝土拉裂；凹边出现纵向裂缝，混凝土压碎，呈现弯曲破坏形态。（失稳破坏）

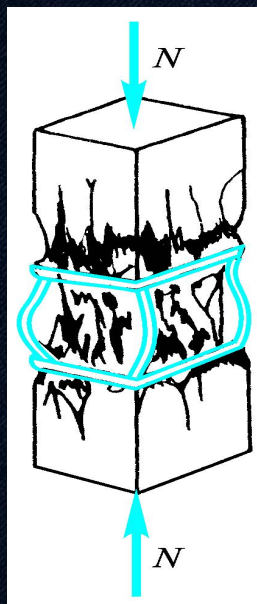


(三) 钢筋混凝土轴心受压柱的试验现象和结果分析

1. 破坏特征的比较

2. 承载力的比较

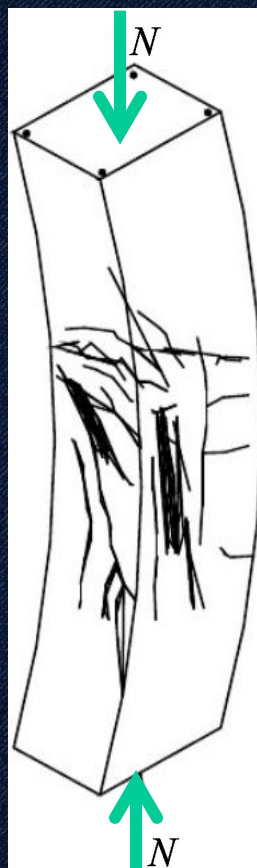
2. 承载力的比较



短柱

破坏时，短柱承载力能够达到其截面承载力 N_u

整个受力过程，短柱的轴心受压状态保持不变。



长柱

破坏时，长柱承载力达不到甚至远低于其截面承载力 N_u

起初的轴心受压变成了受压的同时受弯，最终受弯导致了长柱的破坏。

2. 承载力的比较

短柱：破坏时，短柱承载力能够达到其截面承载力 N_u

长柱：破坏时，长柱承载力达不到甚至远低于其截面承载力 N_u

推论：只要材料和截面完全相同的轴心受压柱，柱的受压承载力都是相同的。

不成立！

2. 承载力的比较

说好的轴心受压嘛，长柱怎么最后成了受弯了？哪里出了问题？

理想的力学模型与土木工程存在的
复杂性之间存在不统一



在实际土木工程中，完全理想的轴心受压柱是不存在的。

2. 承载力的比较

在实际土木工程中，**为什么**完全理想的轴心受压柱是**不存在的**？

◆ 施工建造存在误差

◆ 荷载作用位置存在偏差

◆ 混凝土材料的不均匀

不可避免的初始偏心距

与轴压力形成弯矩，导致长柱受弯破坏。

长柱发生失稳破坏的根源

(三) 钢筋混凝土轴心受压柱的试验现象和结果分析

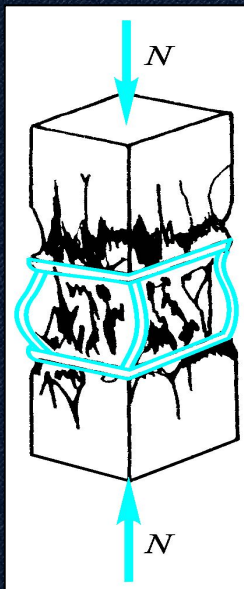
1. 破坏特征的比较

2. 承载力的比较

3. 稳定性的比较

3. 稳定性的比较

同样的初始偏心距，外因都是一样的，钢筋混凝土短柱和长柱两个不同的系统，在轴心受压作用下的破坏现象和承载力大不相同。



短柱

材料破坏

承载力高

稳定性好

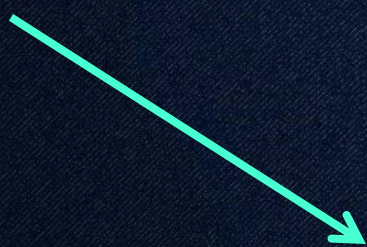


长柱

失稳破坏

承载力低

稳定性差



划重点：

一、柱子的设计目标

足够的承载力、足够的稳定性——在灾害下不倒塌。

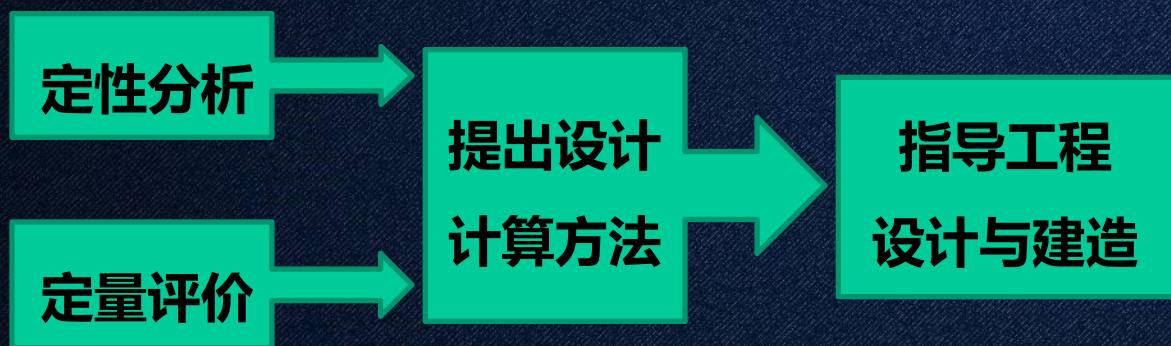
划重点：

二、钢筋混凝土轴心受压柱的受力性能

	破坏性质	承载力	稳定性
短柱	材料破坏	高 (能够达到其截面承载力)	好
长柱	失稳破坏	低 (达不到甚至远低于其截面承载力)	差

同学们的疑问???

- ◆ 多长叫长柱？多短叫短柱？
- ◆ 工程中不可能都是短柱，必须要用长柱的时候怎么办呢？



一、柱子的设计目标

二、钢筋混凝土轴心受压柱的受力性能

三、钢筋混凝土轴心受压柱的承载力计算

三、钢筋混凝土轴心受压柱的承载力计算

(一) 长细比

(一) 长细比

矩形截面：柱的计算长度 比 截面短边尺寸 (l_0/b)

圆形截面：柱的计算长度 比 截面直径 (l_0/d)

其他截面：柱的计算长度 比 截面最小回转半径 (l_0/i)

通过对大量钢筋混凝土轴心受压柱试验

结果的定量分析：

矩形截面：当 $l_0/b \leq 8$

圆形截面：当 $l_0/d \leq 7$

其他截面：当 $l_0/i \leq 28$

轴心受压柱表现为
短柱的破坏特征

三、钢筋混凝土轴心受压柱的承载力计算

(一) 长细比

(二) 稳定系数

(二) 稳定系数

轴心受压短柱

$$N_u^s = f_c A + f_y' A_s'$$

轴心受压长柱

$$N_u^l < N_u^s$$

稳定系数

$$\varphi = \frac{N_u^l}{N_u^s}$$

稳定系数的值由什么决定？ 柱的长细比！

(二) 稳定系数

钢筋混凝土轴心受压构件的稳定系数查表

l_0/b	≤ 8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
l_0/d	≤ 7	8.5	10.5	12	14	15.5	17	19	21	22.5	24
l_0/i	≤ 28	35	42	48	55	62	69	76	83	90	97
φ	1.0	0.98	0.95	0.92	0.87	0.81	0.75	0.70	0.65	0.60	0.56
l_0/b	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
l_0/d	26	28	29.5	31	33	34.5	26.5	38	40	41.5	43
l_0/i	104	111	118	125	132	139	146	153	160	167	174
φ	0.52	0.48	0.44	0.40	0.36	0.32	0.29	0.26	0.23	0.21	0.19

三、钢筋混凝土轴心受压柱的承载力计算

(一) 长细比

(二) 稳定系数

(三) 钢筋混凝土轴心受压柱承载力计算公式

(三) 钢筋混凝土轴心受压柱承载力计算公式

$$N < N_u = 0.9\varphi(f_c A + f_y' A_s')$$

为什么要考虑0.9的折减系数?

- ◆ 考虑到初始偏心距的不利影响
- ◆ 考虑到主要承受恒载作用的轴心受压柱的可靠性

工程师应秉持偏于安全的设计原则

(三) 钢筋混凝土轴心受压柱承载力计算公式

$$N < N_u = 0.9\varphi(f_c A + f'_y A'_s)$$

公式使用时的注意事项:

◆ 钢筋抗压屈服强度 f'_y 的取值

$$\sigma'_s = 0.002 \times 2.0 \times 10^5 = \underline{400 \text{ N/mm}^2}$$

f'_y 的最大值

◆ 混凝土截面面积 A 的取值

当纵向钢筋配筋率大于3%时, A 应改用 $A_c = A - A'_s$

划重点：

(一) 长细比和稳定系数的概念及关系

稳定系数用来反映长柱承载力的降低程度，其值由长细比决定。

(二) 钢筋混凝土轴心受压柱承载力计算公式

$$N < N_u = 0.9\varphi(f_c A + f'_y A'_s)$$

一、柱子的设计目标

二、钢筋混凝土轴心受压柱的受力性能

三、钢筋混凝土轴心受压柱的承载力计算

四、钢筋混凝土柱的一般构造要求

四、钢筋混凝土柱的一般构造要求

什么是构造要求？

指计算设计难以准确表达的，钢筋混凝土结构或构件在截面、材料、配筋等方面的细部设计措施，其中**配筋构造**至关重要。

四、钢筋混凝土柱的一般构造要求

配筋构造为什么至关重要？

- ◆ 没有可靠的配筋构造，计算模型和构件受力就不可能成立。所以，配筋构造是计算模型和构件受力的**必要条件**
- ◆ 因疏忽配筋构造而造成工程事故的情况很多，所以，配筋构造与计算设计是**同等重要的**

工程师切不可重计算，轻构造！

四、钢筋混凝土柱的一般构造要求

(一) 截面形式及尺寸

(二) 材料强度要求

(三) 纵筋的构造要求

(四) 箍筋的构造要求

四、钢筋混凝土柱的一般构造要求

(一) 截面形式及尺寸

(二) 材料强度要求

(三) 纵筋的构造要求

(四) 箍筋的构造要求

(一) 截面形式及尺寸

- ◆ 为便于制作模板，受压构件截面一般采用方形或矩形，有时也采用圆形或多边形
- ◆ 为了避免方形或矩形截面轴心受压柱长细比过大，承载力降低过多，长细比常控制在30 (稳定系数为0.52) 以内
- ◆ 方形柱的截面尺寸不宜小于300mm×300mm

(一) 截面形式及尺寸

- ◆ 为了施工支模方便，柱截面尺寸宜使用整数，800mm及以下的，宜取50mm的倍数，800mm以上的，可取100mm的倍数

四、钢筋混凝土柱的一般构造要求

(一) 截面形式及尺寸

(二) 材料强度要求

(二) 材料强度要求

- ◆ 混凝土强度等级对受压构件的承载能力影响较大。为了减小构件的截面尺寸和节省钢材，宜采用较高强度等级的混凝土，一般采用C30~C50
- ◆ 纵向钢筋和混凝土之间存在较好的粘结，箍筋对混凝土也起到一定的约束作用，这些作用均使轴心受压柱的最大应变增加，使纵向钢筋的强度充分发挥，由此纵向钢筋一般采用HRB400级、HRB500级和HRBF500级

四、钢筋混凝土柱的一般构造要求

(一) 截面形式及尺寸

(二) 材料强度要求

(三) 纵筋的构造要求

(三) 纵筋的构造要求

◆ 纵筋的作用有哪些？

- 直接受压，提高柱的承载力
- 承担偶然偏心等产生的拉应力
- 改善素混凝土柱的脆性破坏特征
- 减小持续压应力下混凝土收缩和徐变的影响

(三) 纵筋的构造要求

- ◆ 纵筋直径不宜过小，一般不宜小于12mm
- ◆ 纵向受压钢筋的配筋率不宜过低，轴心受压构件、偏心受压构件**全部纵筋的配筋率**：
 - 当纵筋强度等级为500MPa，**不应小于0.5%**；
 - 当纵筋强度等级为400MPa，**不应小于0.55%**；
 - 当纵筋强度等级为300MPa和335MPa，**不应小于0.6%**
- ◆ 同时，一侧纵筋的配筋率不应小于0.2%，**全部纵筋配筋率不宜大于5%**

(三) 纵筋的构造要求

- ◆ 圆柱中纵向钢筋宜沿周边均匀布置，不宜少于8根，且不应少于6根
- ◆ 柱内纵筋混凝土保护层厚度应考虑环境类别、设计使用年限、混凝土强度等级及所采用的箍筋直径，并不小于自身直径。纵筋净距不应小于50mm。纵筋中距不宜大于300mm

(三) 纵筋的构造要求

- ◆ 纵筋的连接接头宜设置在受力较小处，同一根钢筋宜少设接头。钢筋的接头可采用机械连接接头，也可采用焊接接头和搭接接头。对于直径大于28mm的受拉钢筋和直径大于32mm的受压钢筋，不宜采用绑扎的搭接接头

四、钢筋混凝土柱的一般构造要求

(一) 截面形式及尺寸

(二) 材料强度要求

(三) 纵筋的构造要求

(四) 箍筋的构造要求

(四) 箍筋的构造要求

◆ 箍筋的作用有哪些?

- 承担剪力
- 固定纵筋，形成钢筋骨架
- 约束混凝土，改善混凝土的性能
- 给纵筋提供侧向支承，防止纵筋压屈

(四) 箍筋的构造要求

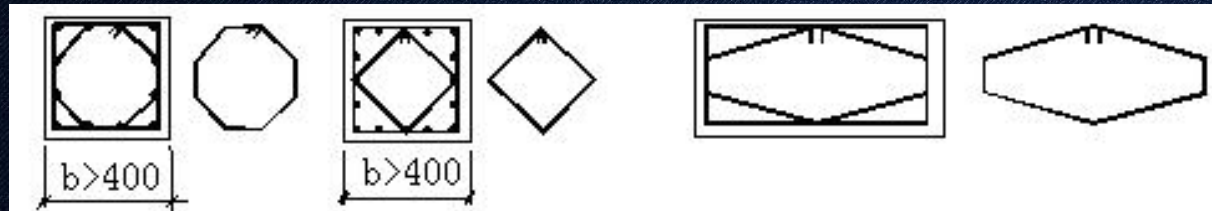
- ◆ 应当采用**封闭式箍筋**，以保证钢筋骨架的整体刚度，并保证构件在破坏阶段箍筋对混凝土和纵向钢筋的**侧向约束作用**
- ◆ 箍筋采用热轧钢筋时，直径不应小于 $d/4$ （ d 为纵筋直径），且不应小于6mm
- ◆ 箍筋间距不应大于400mm，且不应大于构件截面的短边尺寸；同时，不应大于 $15d$ （ d 为纵筋直径）

(四) 箍筋的构造要求

- ◆ 当柱中全部纵向钢筋配筋率超过3%时，箍筋直径不应小于8mm，间距不应大于纵向钢筋最小直径的10倍，且不应大于200mm。箍筋末端应做成135°的弯钩，且弯钩末端的平直段长度不应小于10倍箍筋直径

(四) 箍筋的构造要求

- ◆ 当柱截面短边尺寸大于400mm且各边纵向钢筋多于3根时，或当柱截面短边尺寸不大于400mm但各边纵向钢筋多于4根时，应设置复合箍筋



小结:

- 一、怎样设计柱子
- 二、钢筋混凝土轴心受压柱的受力性能
- 三、钢筋混凝土轴心受压柱的承载力计算
- 四、钢筋混凝土柱的一般构造要求

结构工程师的任务

将力学理论应用于土木工程中，解决实际问题，将实际工程的复杂性与力学的基本原理统一起来。