

# 关于“轴压比”的那些事儿

王丹凤

轴压比是结构设计中比较关心的问题，本文从规范对柱、剪力墙轴压比的相关规定、YJK程序如何实现以及用户常见问题三个方面进行一下简单梳理。

## 一、轴压比的概念

### 1.柱轴压比

来看一下对于柱轴压比规范是如何规定的：

《抗震规范》6.3.6条规定：“轴压比指柱组合的轴压力设计值与柱的全截面面积和混凝土轴心抗压强度设计值乘积之比值；对本规范规定不进行地震作用计算的结构，可取无地震作用组合的轴力设计值计算”。而且此条条文说明中规定：“限值框架柱的轴压比主要是为了保证柱的塑性变形能力和保证框架的抗倒塌能力。抗震设计时，除了预计不可能进入屈服的柱外，通常希望框架柱最终为大偏心受压破坏”。

《混凝土规范》11.4.16条及《高规》6.4.2条则明确说明了：“轴压比指柱考虑地震作用组合的轴压力设计值与柱全截面面积和混凝土轴心抗压强度设计值乘积的比值”。

常见问题 Q1：轴压比不是轴力设计值最大的组合？

Figure 1: Screenshot of YJK software output. On the left, a diagram shows a square column with dimensions 4.00m by 4.00m and a core diameter of 1.25m. The text "(0.75<0.90)" is written next to it. On the right, a text window displays the following data:

```
dsnMemInf.out - 记事本
文件(F) 编辑(E) 格式(O) 查看(V) 帮助(H)

Fyv=360
砼柱 矩形
livec=1.000
η mu=1.200 η vu=1.320 η md=1.200 η vd=1.320
λ c=3.042
( 30)Nu= -5298.6 Uc= 0.75 Rs= 2.93(%) Rsv= 0.70(%) Asc= 254
( 14)N= -7725.9 Mx= -387.8 My= 23.2 Asxt= 3594 Asxt0= 3594
( 12)N= -7695.6 Mx= -309.2 My= 110.3 Asyt= 2310 Asyt0= 2310
( 14)N= -7725.9 Mx= 551.0 My= 13.1 Asxb= 4405 Asxb0= 4405
( 17)N= -7718.1 Mx= 473.4 My= 94.4 Asyb= 2255 Asyb0= 2255
( 17)N= -5289.5 Vx= 103.6 Vy= -176.7 Ts= 1.5 Asvx= 202 Asvx0=
0
( 30)N= -5294.5 Vx= 1.8 Vy= -237.7 Ts= 0.9 Asvy= 202 Asvy0=
```

A yellow box highlights the following text:

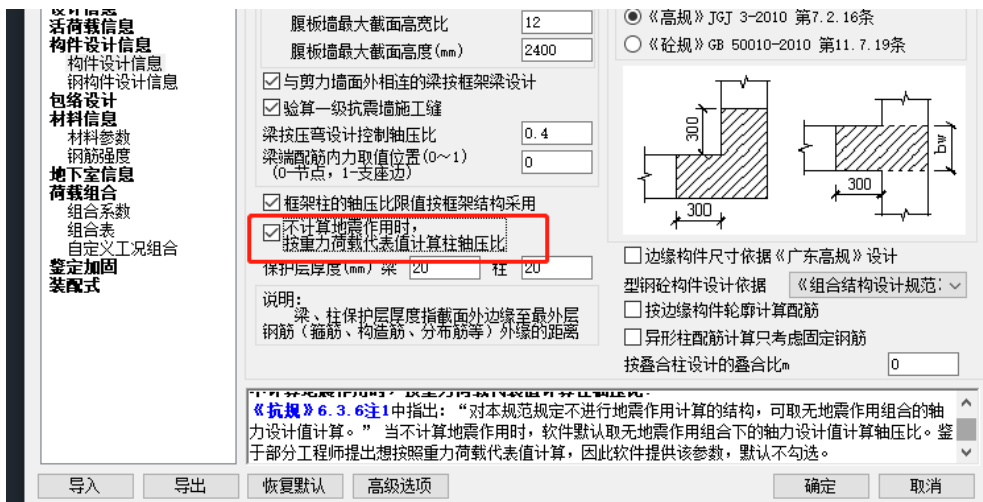
软件输出的轴压比计算错误!!!明明柱轴力最大值为14号组合-7725.9kN, 计算轴压比时采用的30号组合轴力才5298.6kN, 为什么?

A1：查看构件信息，可以看出 14 号组合是非地震组合。软件按照规范，计算地震时取地震组合下的轴力设计值的最大值。

Figure 2: Screenshot of YJK software output showing a table of load combinations. The table has columns: Ncm, V-D, V-L, +X-W, -X-W, +Y-W, -Y-W, X-E, Y-E, Z-E, R-F, TEM, CRN. The 14th and 30th rows are highlighted with red boxes.

Ncm	V-D	V-L	+X-W	-X-W	+Y-W	-Y-W	X-E	Y-E	Z-E	R-F	TEM	CRN
1	1.30	1.50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2	1.00	1.50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3	1.30	--	1.50	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4	1.30	--	--	1.50	--	--	--	--	--	--	--	--
5	1.30	--	--	--	1.50	--	--	--	--	--	--	--
6	1.30	--	--	--	--	1.50	--	--	--	--	--	--
7	1.30	1.50	0.90	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8	1.30	1.50	--	0.90	--	--	--	--	--	--	--	--
9	1.30	1.50	--	--	0.90	--	--	--	--	--	--	--
10	1.30	1.50	--	--	--	0.90	--	--	--	--	--	--
11	1.30	1.50	--	1.50	--	--	--	--	--	--	--	--
12	1.30	1.50	--	--	1.50	--	--	--	--	--	--	--
13	1.30	1.50	--	--	--	1.50	--	--	--	--	--	--
14	1.30	1.50	--	--	--	1.50	--	--	--	--	--	--
15	1.00	--	1.50	--	--	--	--	--	--	--	--	--
16	1.00	--	--	1.50	--	--	--	--	--	--	--	--
17	1.00	--	--	--	1.50	--	--	--	--	--	--	--
18	1.00	--	--	--	--	1.50	--	--	--	--	--	--
19	1.00	1.50	0.90	--	--	--	--	--	--	--	--	--
20	1.00	1.50	--	0.90	--	--	--	--	--	--	--	--
21	1.00	1.50	--	--	0.90	--	--	--	--	--	--	--
22	1.00	1.50	--	--	--	0.90	--	--	--	--	--	--
23	1.00	1.50	1.50	--	--	--	--	--	--	--	--	--
24	1.00	1.50	--	1.50	--	--	--	--	--	--	--	--
25	1.00	1.50	--	--	1.50	--	--	--	--	--	--	--
26	1.00	1.50	--	--	--	1.50	--	--	--	--	--	--
27	1.20	0.60	--	--	--	--	1.30	--	--	--	--	--
28	1.20	0.60	--	--	--	--	-1.30	--	--	--	--	--
29	1.20	0.60	--	--	--	--	--	1.30	--	--	--	--
30	1.20	0.50	--	--	--	--	--	-1.30	--	--	--	--
31	1.00	0.50	--	--	--	--	1.30	--	--	--	--	--
32	1.00	0.50	--	--	--	--	-1.30	--	--	--	--	--

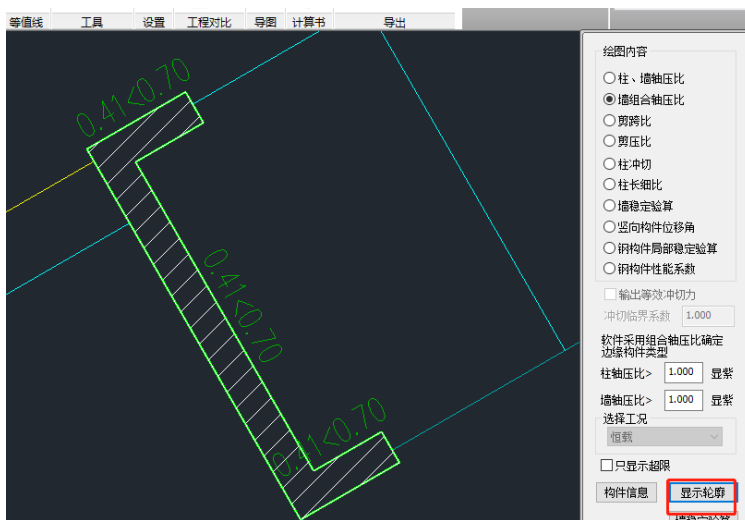
不计算地震作用时，软件按照规范默认取非地震组合下的轴力设计值，如果勾选“不计算地震时，按重力荷载代表值计算柱轴压比”，则按重力荷载代表值计算。



## 2. 剪力墙轴压比

《高规》7.2.13 条规定：“墙肢轴压比是指重力荷载代表值作用下墙肢承受的轴压力设计值与墙的全截面面积和混凝土轴心抗压强度设计值乘积之比值”。

软件按照规范采用重力荷载代表值计算墙肢轴压比。软件按照组合截面计算组合轴压比，即在计算每一段剪力墙轴压比时，结合相邻墙肢适当范围的轴力组合计算，结合的相邻墙肢长度可在高级选项中设置，默认为 6 倍翼缘墙厚并且不超过腹板墙长的一半。软件把相邻墙肢这一段的面积和轴力都叠加到当前计算的墙肢上，扣除他们之间的重叠部分。在【设计结果】菜单的【轴压比】菜单下，选择【墙组合轴压比】通过右侧的“显示轮廓”按钮，鼠标停靠在某一剪力墙段上时，阴影区域即为组合截面。柱、墙轴压比菜单下也输出了单墙肢轴压比结果。

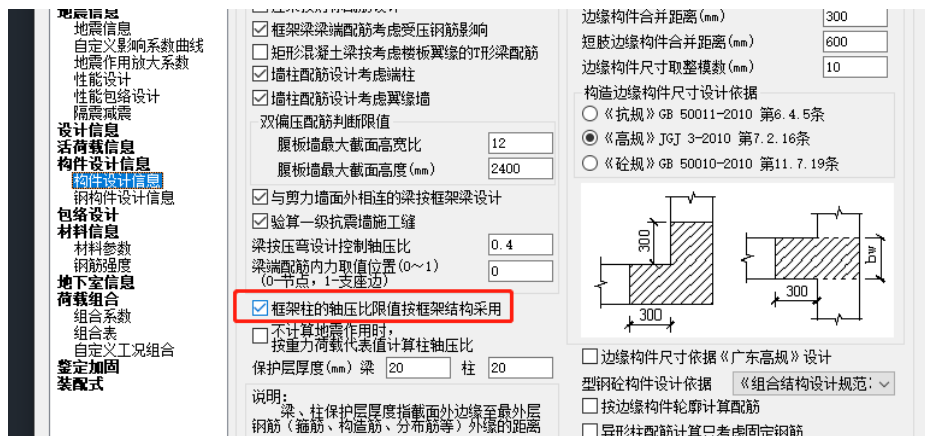


## 二、程序实现

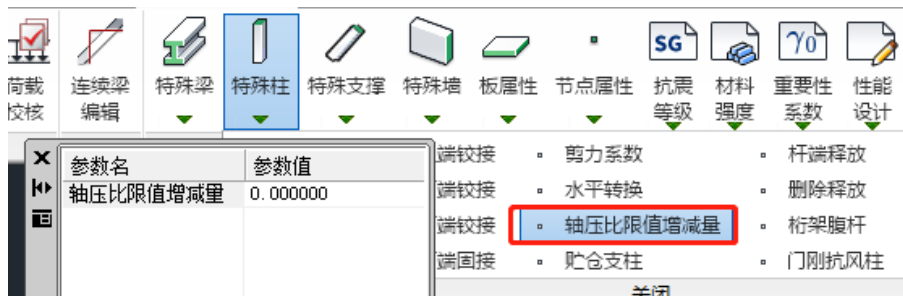
### 1. 轴压比的限值

软件首先根据用户输入的结构类型、抗震等级，自动按照相关规范轴压比限值查表获得基本数值，然后按照下述规则对限值进行调整：

- 1) 勾选了“框架柱的轴压比限值按框架结构采用”，则按框架结构查表；



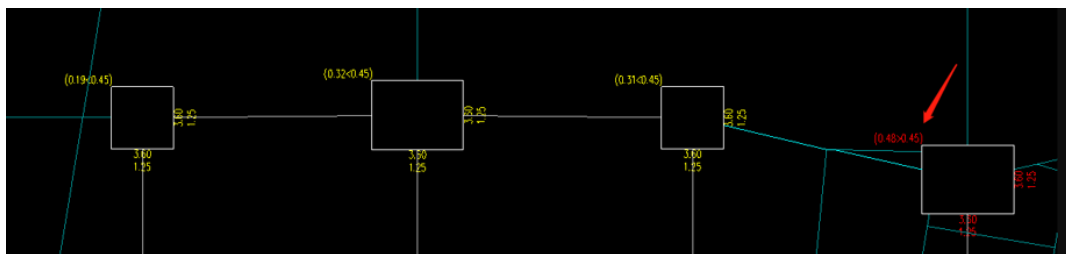
- 2) 当混凝土强度等级为 C65~C70 时，轴压比限值应比表中数值降低 0.05；当混凝土强度等级为 C75~C80 时，轴压比限值应比表中数值降低 0.10；
- 3) 剪跨比不大于 2 的柱，轴压比限值降低 0.05；剪跨比小于 1.5 的柱，轴压比限值降低 0.1；
- 4) 建造于 IV 类场地且较高的高层建筑，柱轴压比限值降低 0.05；软件关于 IV 类场较高建筑的判断规则为：框架结构高度超过 40m，或者非框架结构高度超过 60m。
- 5) 加强层及其相邻层的框架柱，轴压比限值应按其他楼层框架柱的数值减小 0.05；
- 6) 对于不能自动处理的情况，在前处理设置了柱轴压比限值增减量的菜单。用户可手工指定轴压比限值增减量，如填-0.05 表示限值减小 0.05。



软件自动计算出柱轴压比并按照轴压比限值判断该轴压比是否超出限值。并在【设计结果】菜单下【配筋简图】输出轴压比，【轴压比】中输出轴压比及限值，如果超限，以红色显示。

对于钢柱来说，根据高钢规 7.3.4 条，只有结构类型选择框筒和筒中筒结构才控制轴压比，其它结构不控制，则程序输出限值为 99。

常见问题 Q2：一级转换柱（超短柱）轴压比限值软件中为何取 0.45？

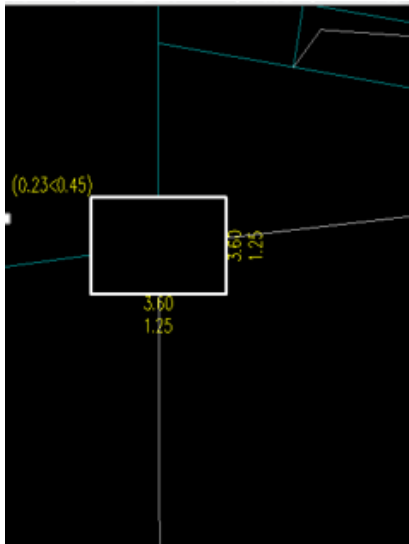


A2：转换柱执行框支剪力墙结构的轴压比限值，查表限值为 0.6；剪跨比不大于 1.5 时，限值减 0.1；IV 类场地较高建筑，轴压比限值减 0.05； 0.60-0.1-0.05=0.45

柱轴压比不宜超过表6.3.6的规定；建造于IV类场地且较高的高层建筑，柱轴压比限值应适当减小。

表 6.3.6 柱轴压比限值

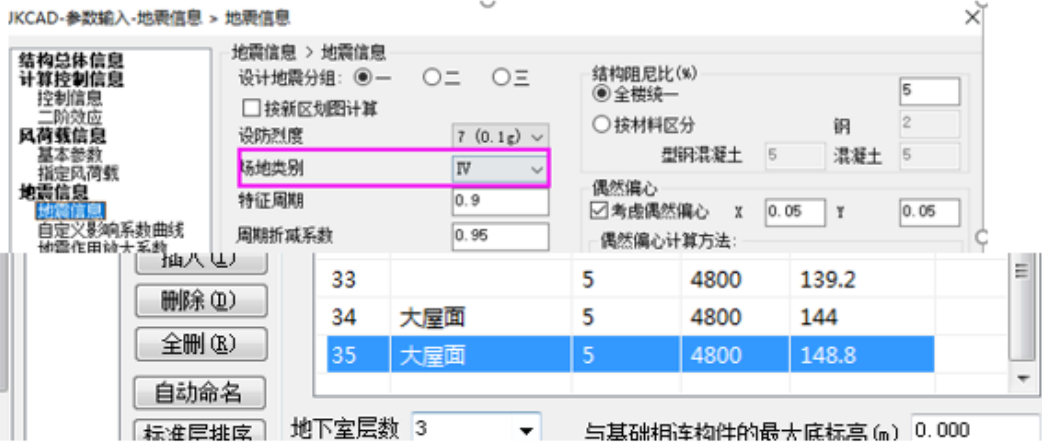
结构类型	抗震等级			
	一	二	三	四
框架结构	0.65	0.75	0.85	0.90
框架-抗震墙、板柱-抗震墙、 框架-核心筒及筒中筒	0.75	0.85	0.90	0.95
部分框支抗震墙	0.6	0.7	—	



```

dsnMemInf - 记事本
文件(F) 编辑(E) 格式(O) 查看(V) 帮助(H)
Nj,Vjx,Vjy --- 节点域箍筋Asvjx, Asvjy的控制内力(kN)
注：柱箍筋是指单位间距范围内的箍筋面积
CB_XF,CB_YF --- 投影到整体坐标系下的X, Y向抗剪承载力(kN)
FI --- 柱冲切计算时的等效冲切力(kN)

-----
N-C=78 (I=7000948, J=6000332)(1)B*H(mm)=1800*1200
Cover= 35(mm) Cx=1.25 Cy=1.25 Lcx=3.60(m) Lcy=3.60(m) Nfc=1 Nfc_gz=1 Rcc=60.0 Fy=360 Fyv=360
砼柱 转换柱 矩形 短柱
livec=1.000 kzzx=1.000, kzzy=1.000 kzzn=1.500
ηmu=1.400 ηvu=1.960 ηmd=1.400 ηvd=1.960
( 0)M= 0.0 V= 0.0 Ac=1.033
( 38)Nu= -13397.7 Uc= 0.23 Rs= 1.25(%) Rsv= 1.50(%) Asc= 490
( 51)N= -7502.8 Mx= -6933.9 My= -548.7 Asxt= 8590 Asxt0= 6082
( 1)N= -14027.4 Mx= -2728.1 My= 1684.4 Asyt= 5890 Asyt0= 0
( 1)N= -14027.4 Mx= -63.1 My= 1361.5 Asxb= 8590 Asxb0= 0
( 1)N= -14027.4 Mx= -63.1 My= 1361.5 Asyb= 5890 Asyb0= 0
( 43)N= -9692.0 Vx= 821.9 Vy= -3580.7 Ts= 32.2 Asvx= 1006 Asvx0= 61
( 43)N= -9692.0 Vx= 821.9 Vy= -3580.7 Ts= 32.2 Asvy= 1006 Asvy0= 102
节点核心区设计结果：
( 36) N= 0.0 Vjx= 2728.3 Asvjx= 615 Asvjxal= 0
( 41) N= 0.0 Vjy= -7096.2 Asvjy= 615 Asvjyal= 0
    
```



## 2.性能设计下的轴压比

程序自动根据选择的性能水准，按照规范要求验算轴压比。比如按照《高规》选择性能水准3，软件会自动采用标准组合轴力，按材料强度标准值计算轴压比。

常见问题 Q3：性能设计下的轴压比如何计算？

A3：以大震不屈服下的轴压比为例，按照规范要求，采用标准组合，混凝土强度采用极限值即混凝土立方强度的0.88倍。

4 结构构件按极限承载力复核时，应采用不计入风荷载效应的地震作用效应**标准组合**，并按下式验算：

$$S_{GE} + S_{Ek}(I, \zeta) < R_u \quad (M. 1. 2-4)$$

式中： $I$ ——表示设防地震动或罕遇地震动，隔震结构包含水平向减震影响；

$\zeta$ ——考虑部分次要构件进入塑性的刚度降低或消能减震结构附加的阻尼影响；

$R_u$ ——按材料最小极限强度值计算的承载力；钢材强度可取最小极限值，钢筋强度可取屈服强度的 1.25 倍，**混凝土强度可取立方强度的 0.88 倍。**

组合号	DL	LL	+WX	-WX	+WY	-WY	EX	EY	SOIL	N-C=SS (I=1000103, J=55)(I)B4H(mm)=600*600
1	1.20	1.50							1.3C	Cover= 20(mm) Cx=1.00 Cy=1.00 Lcx=4.10(m) Lcy=4.10(m) Nfc=3 Nfc_gz=3 Rcc=45.0 Fy=500 Fyv=500
2	1.00	1.50							1.0C	砼柱 C45 矩形 正截面不屈服 斜截面不屈服
3	1.30		1.50						1.3C	活载=1.000
4	1.30			1.50					1.3C	活载=1.000
5	1.30				1.50				1.3C	活载=1.000
6	1.30					1.50			1.3C	活载=1.000
7	1.30	1.50	0.90						1.3C	活载=1.000
8	1.30	1.50		0.90					1.3C	活载=1.000
9	1.30	1.50			0.90				1.3C	活载=1.000
10	1.30	1.50				0.90			1.3C	活载=1.000
11	1.30	1.05	1.50						1.3C	活载=1.000
12	1.30	1.05		1.50					1.3C	活载=1.000
13	1.30	1.05			1.50				1.3C	活载=1.000
14	1.30	1.05				1.50			1.3C	活载=1.000
15	1.00		1.50						1.0C	活载=1.000
16	1.00			1.50					1.0C	活载=1.000
17	1.00				1.50				1.0C	活载=1.000
18	1.00					1.50			1.0C	活载=1.000
19	1.00	1.50	0.90						1.00	
20	1.00	1.50		0.90					1.00	
21	1.00	1.50			0.90				1.00	
22	1.00	1.50				0.90			1.00	
23	1.00	1.05	1.50						1.00	
24	1.00	1.05		1.50					1.00	
25	1.00	1.05			1.50				1.00	
26	1.00	1.05				1.50			1.00	
27	1.00	0.50					1.00		1.00	
28	1.00	0.50						-1.00	1.00	
29	1.00	0.50							1.00	
30	1.00	0.50							-1.00	1.00

组合号	N	C	Mx	My	Vx	Vy	Asxt	Asyt	Asxb	Asyb	Asvx	Asvy
99	-5995.3	4612.6	-401.2	442.5	442.5	1243	1243	1243	1243	0	0	0
71	-5913.7	445.8	449.3	1147	1147	0	0	0	0	0	0	0
13	-5912.1	211.6	211.6	829	829	0	0	0	0	0	0	0
27	-4559.7	402.5	61.5	110	110	0	0	0	0	0	0	0
29	-3513.3	131.0	-325.4	110	110	0	0	0	0	0	0	0
23	-2059.8	1347.8	126	126	126	0	0	0	0	0	0	0
28	-2059.8	1390.1	126	126	126	0	0	0	0	0	0	0

抗剪承载力: CB XF= 647.51 CB YF= 682.01

4.1.1 混凝土强度等级应按立方体抗压强度标准值确定。立方体抗压强度标准值是指按标准方法制作、养护的边长为150mm的立方体试件，在28d或设计规定龄期以标准试验方法测得的具有95%保证率的抗压强度值。

混凝土强度为 C45, 则  $f=0.88 \times 45=39.6$

$U_c=4612.6 \times 1000 / (600 \times 600 \times 39.6)=0.32$

### 三、小结：

1. 控制轴压比主要为了保证构件的延性，保证柱的塑性变形能力和框架的抗倒塌能力。
2. 柱轴压比，计算地震时，软件按照规范取地震作用组合的轴力设计值；不计算地震作用时，软件按照规范默认取非地震组合下的轴力设计值，如果勾选“不计算地震时，按重力荷载代表值计算柱轴压比”则按重力荷载代表值计算。
3. 剪力墙采用重力荷载代表计算墙肢轴压比，软件输出了单墙肢轴压比和组合墙轴压比，计算书中按组合轴压比控制墙的轴压比。
4. 软件按照规范要求确定轴压比的限值并判断是否超限，根据规范要求或者规范精神自动对轴压比限值进行了调整，对个别不能自动调整的情况，可设置轴压比增减量。
5. 对于钢柱，只对框筒和筒中筒结构控制轴压比，程序按规范限值输出；对其它结构不控制，则程序输出限值为 99。
6. 软件可以自动按照规范性能设计的相关要求计算性能设计下的轴压比。