

海外项目系列(III):美标地震力的调整

彭志丰

前言：随着“一带一路”的深入发展，国内设计师拥有越来越多的机会参与到海外项目设计中；地震作用在结构设计过程中是不可缺少的重要组成部分，而中国标准与美标标准在地震作用中存在诸多异同，本文将结合工程项目案例，详细说明美标地震力的调整，以供国内设计师参考。

正文：有用户咨询“盈建科海外版美标模块计算出的地震楼层剪力为什么比 Etabs 偏大，而且大的有点离谱？”，是软件计算不准确，还是另有蹊跷？带着这个疑问我们具体分析一下原因。

美标关于地震力的计算分为等效抗侧力法、反应谱法和时程分析法三种。在此仅介绍等效抗侧力法、反应谱法的部分内容。

首先，我们了解一下等效抗侧力法的一些规定。等效抗侧力法关于地震基底剪力的求解详见公式 12.8-1，地震力系数 C_s 的求解详见公式 12.8-2 至 12.8-4（详见图 1），地震力系数 C_s 的下限值 12.8-5 和公式 12.8-6 求出（详见图 2）；地震力系数 C_s 的下限值与国标中的最小剪重比的作用类似，用于保证结构处在长周期时候的地震力不至于过小。

12.8 EQUIVALENT LATERAL FORCE PROCEDURE

12.8.1 Seismic Base Shear

The seismic base shear, V , in a given direction shall be determined in accordance with the following equation:

$$V = C_s W \quad (12.8-1)$$

where

C_s = the seismic response coefficient determined in accordance with Section 12.8.1.1

W = the effective seismic weight per Section 12.7.2

12.8.1.1 Calculation of Seismic Response Coefficient

The seismic response coefficient, C_s , shall be determined in accordance with Eq. 12.8-2.

$$\text{短周期} \quad C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (12.8-2)$$

where

S_{DS} = the design spectral response acceleration parameter in the short period range as determined from Section 11.4.4 or 11.4.7

R = the response modification factor in Table 12.2-1

I_e = the importance factor determined in accordance with Section 11.5.1

The value of C_s computed in accordance with Eq. 12.8-2 need not exceed the following:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad \text{for } T \leq T_L \quad (12.8-3)$$

长周期

$$C_s = \frac{S_{D1} T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad \text{for } T > T_L \quad (12.8-4)$$

图 1. 地震力系数 C_s 的求解公式

C_s shall not be less than

$$C_s = 0.044S_{DS}I_e \geq 0.01 \quad (12.8-5)$$

In addition, for structures located where S_1 is equal to or greater than $0.6g$, C_s shall not be less than

$$C_s = 0.5S_1/(R/I_e) \quad (12.8-6)$$

where I_e and R are as defined in Section 12.8.1.1 and

S_{D1} = the design spectral response acceleration parameter at a period of 1.0 s, as determined from Section 11.4.4 or 11.4.7

T = the fundamental period of the structure(s) determined in Section 12.8.2

T_L = long-period transition period(s) determined in Section 11.4.5

S_1 = the mapped maximum considered earthquake spectral response acceleration parameter determined in accordance with Section 11.4.1 or 11.4.7

图 2. 地震力系数 C_s 的下限值

盈建科海外版本美标模块等效侧向力法依据结构周期 T 按图 3 确定地震作用大小，即软件自动考虑等效侧向力法计算地震力下限的 3 个调整，不需要用户进行人为调整。

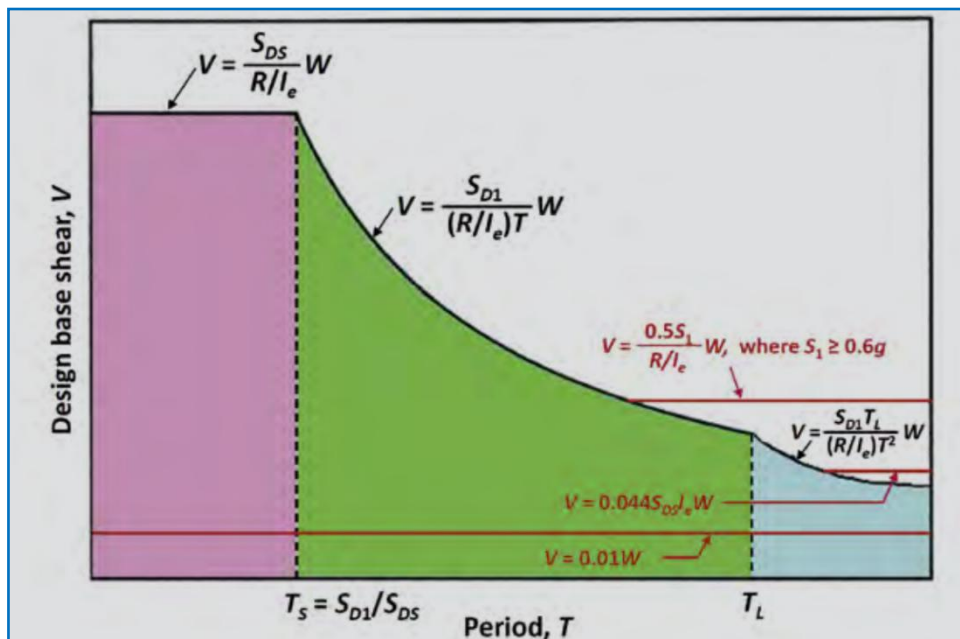


图 3. 盈建科美标模块等效侧向力法

等效抗侧力法求地震力过程中，我们采用合理的分析方法确定结构周期 T，但是需要注意结构的基本周期 T 具有上限值，结构周期 T 不能超过计算周期上限系数 C_u 与估算结构基本周期 T_a 的乘积，计算周期上限系数 C_u 可根据表 12.8.1 查得，估算结构基本周期 T_a 可以通过 ASCE7-10 中公式 12.8-7 求得，注意表 12.8-2 中的括号数值用于米制单位。

计算周期上限系数 C_u

Table 12.8-1 Coefficient for Upper Limit on Calculated Period

Design Spectral Response Acceleration Parameter at 1 s, S_{D1}	Coefficient C_u
≥ 0.4	1.4
0.3	1.4
0.2	1.5
0.15	1.6
≤ 0.1	1.7

图 4. 计算周期上限系数 C_u

12.8.2.1 Approximate Fundamental Period

The approximate fundamental period (T_a), in s, shall be determined from the following equation:

$$T_a = C_t h_n^x \quad (12.8-7)$$

where h_n is the structural height as defined in Section 11.2 and the coefficients C_t and x are determined from Table 12.8-2.

Table 12.8-2 Values of Approximate Period Parameters C_t and x		
Structure Type	C_t	x
Moment-resisting frame systems in which the frames resist 100% of the required seismic force and are not enclosed or adjoined by components that are more rigid and will prevent the frames from deflecting where subjected to seismic forces:		
Steel moment-resisting frames	0.028 (0.0724) ^a	0.8
Concrete moment-resisting frames	0.016 (0.0466) ^a	0.9
Steel eccentrically braced frames in accordance with Table 12.2-1 lines B1 or D1	0.03 (0.0731) ^a	0.75
Steel buckling-restrained braced frames	0.03 (0.0731) ^a	0.75
<u>All other structural systems</u>	<u>0.02 (0.0488)^a</u>	<u>0.75</u>
^a Metric equivalents are shown in parentheses.		

图 5. 估算结构基本周期公式 ASCE7-10 12.8-7 和表 12.8-2

其次，我们了解美标反应谱法的一个特殊规定，根据 ASCE7-10 的 12.9.4.1 条，美标反应谱计算的基底剪力不应小于等效侧向力法的 0.85 倍（详见图 6）。在盈建科海外版本中在 wzq 中可以查看具体的调整系数，在 wzq 文件末尾为具体的调整系数。

12.9.4 Scaling Design Values of Combined Response

A base shear (V) shall be calculated in each of the two orthogonal horizontal directions using the calculated fundamental period of the structure T in each direction and the procedures of Section 12.8.

12.9.4.1 Scaling of Forces

Where the calculated fundamental period exceeds $C_u T_a$ in a given direction, $C_u T_a$ shall be used in lieu of T in that direction. Where the combined response for the modal base shear (V_i) is less than 85 percent of the calculated base shear (V) using the equivalent lateral force procedure, the forces shall be multiplied by $0.85 \frac{V}{V_i}$:
where

V = the equivalent lateral force procedure base shear, calculated in accordance with this section and Section 12.8

V_i = the base shear from the required modal combination

图 6. 美标反应谱法的特殊规定

然后，我们具体的查看一下用户的问题：
1. 建科海外版美标模块输入自定义地震加速度曲线，两个模型分别为大震与小震的地震加速度曲线不同，基底剪力却相同（详见图 7）。
2. 盈建科计算出的地震剪力却比 Etabs 偏大，而且大的很多。

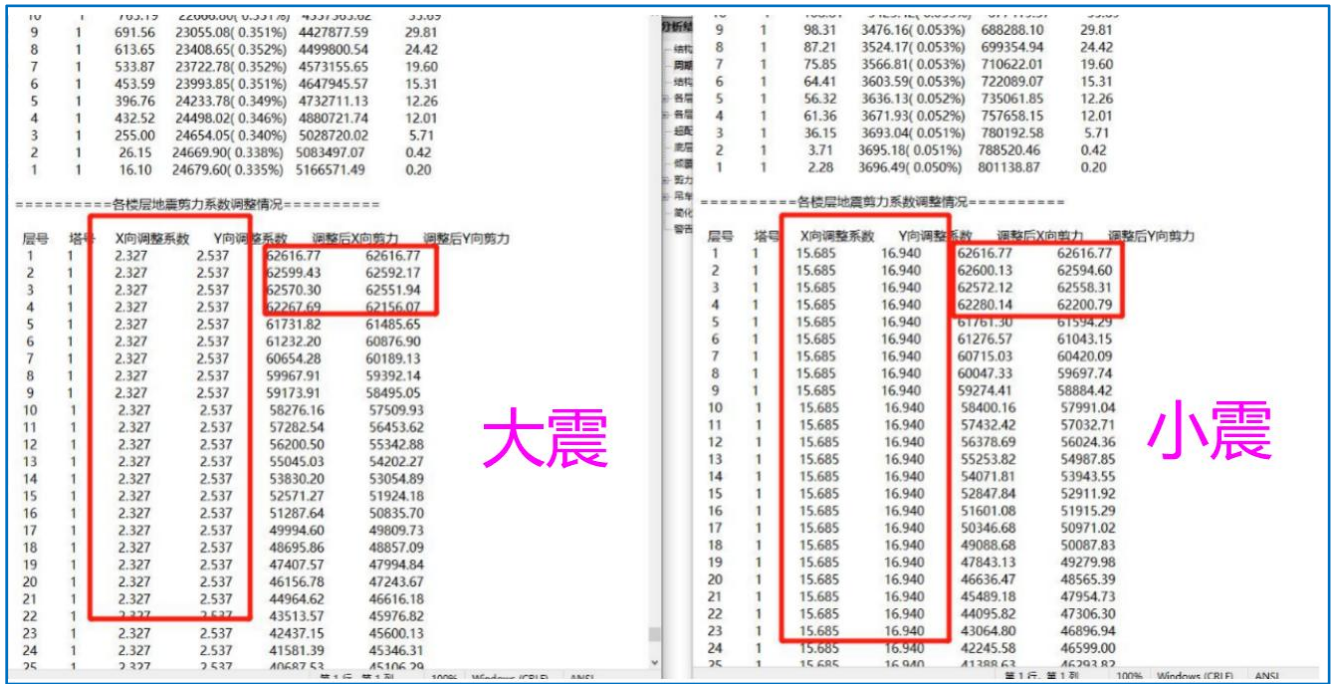


图 7.盈建科美标模块在大震与小震下的楼层地震剪力

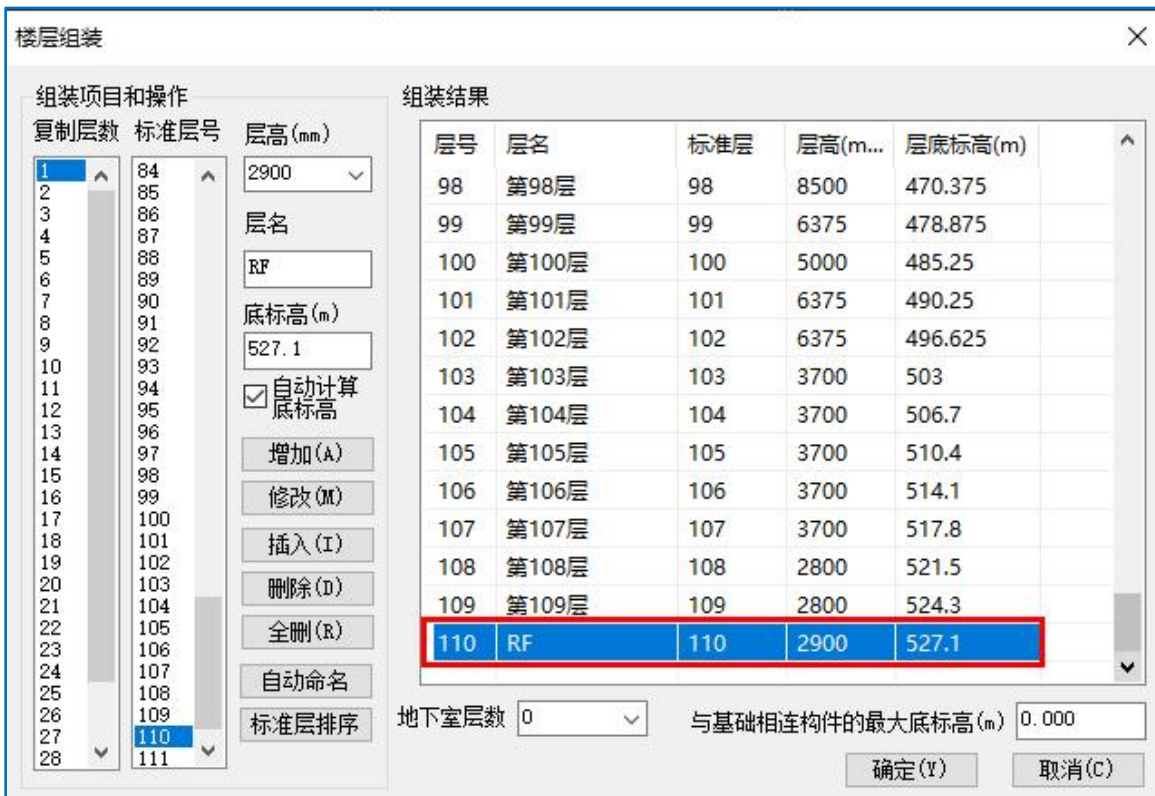


图 8 盈建科美标模块楼层组装信息

$$T_a = C_t h_n^x = 0.0448 \times (527.1 + 2.9)^{0.75} = 4.9486 \text{ (Refer to ASCE7-10 12.8-7)}$$

因为 $S_{D1} = 0.0333 < 0.1$, 所以 $C_u = 1.7$ (Refer to ASCE7-10 Table 12.8-1)

故周期的上限值为 $C_u T_a = 1.7 \times 4.9486 = 8.41262 \text{ s}$,

从阵型图中可知： $T_x = 10.175 s$ ， $T_y = 8.907 s$ ，

因为 $T_x = 10.175 s > C_u T_a = 8.41262 s$ ，所以需要对 T_x 进行调整，则 $T_x = 8.41262 s$ 。

因为 $T_y = 8.907 s > C_u T_a = 8.41262 s$ ，所以需要对 T_y 进行调整，则 $T_y = 8.41262 s$ 。

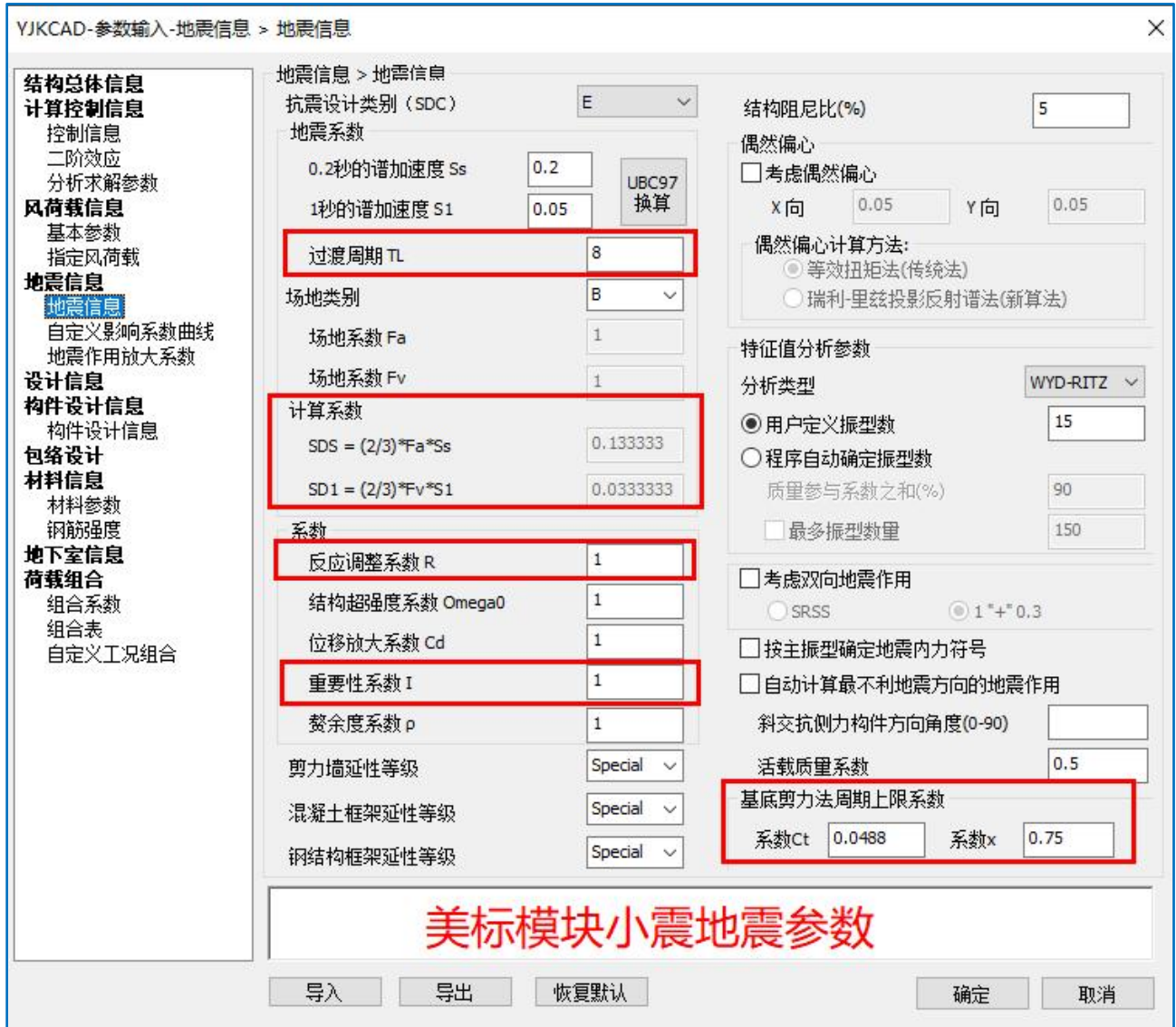


图 9 盈建科美标模块小震地震参数设置

以小震为例，进行手算等效抗侧力法在整体坐标 X 和 Y 方向地震力系数 C_s ，地震参数在盈建科中的设置为图 9。 $R = 1.0$ ， $I_e = 1.0$ ， $S_{DS} = 0.1333$ ，

在整体坐标 X 方向上，因为 $T_x = 8.41262 s > T_L = 8 s$ ，

$$\text{所以 } C_s = \frac{S_{D1} T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0.0333 \times 8}{(8.41262)^2 \left(\frac{1}{1}\right)} = 0.003764 \quad (\text{Refer to ASCE7-10 } 12.8-4)$$

$$C_s = 0.044 S_{DS} I_e = 0.044 \times 0.1333 \times 1.0 = 0.00587 < 0.01 \quad (\text{Refer to ASCE7-10 } 12.8-5)$$

所以小震情况下整体坐标 X 方向上需要进行 C_s 调整，则 $C_s = 0.01$ 。

在整体坐标 Y 方向上，因为 $T_y = 8.41262 s > T_L = 8 s$ ，

$$\text{所以 } C_s = \frac{S_{D1}T_L}{T^2\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0.0333 \times 8}{(8.41262)^2 \left(\frac{1}{1}\right)} = 0.003764 \quad (\text{Refer to ASCE7-10 } 12.8-4)$$

$$C_s = 0.044S_{DS}I_e = 0.044 \times 0.1333 \times 1.0 = 0.00587 < 0.01 \quad (\text{Refer to ASCE7-10 } 12.8-5)$$

所以小震情况下整体坐标 Y 方向上需要进行 Cs 调整，则 Cs=0.01。

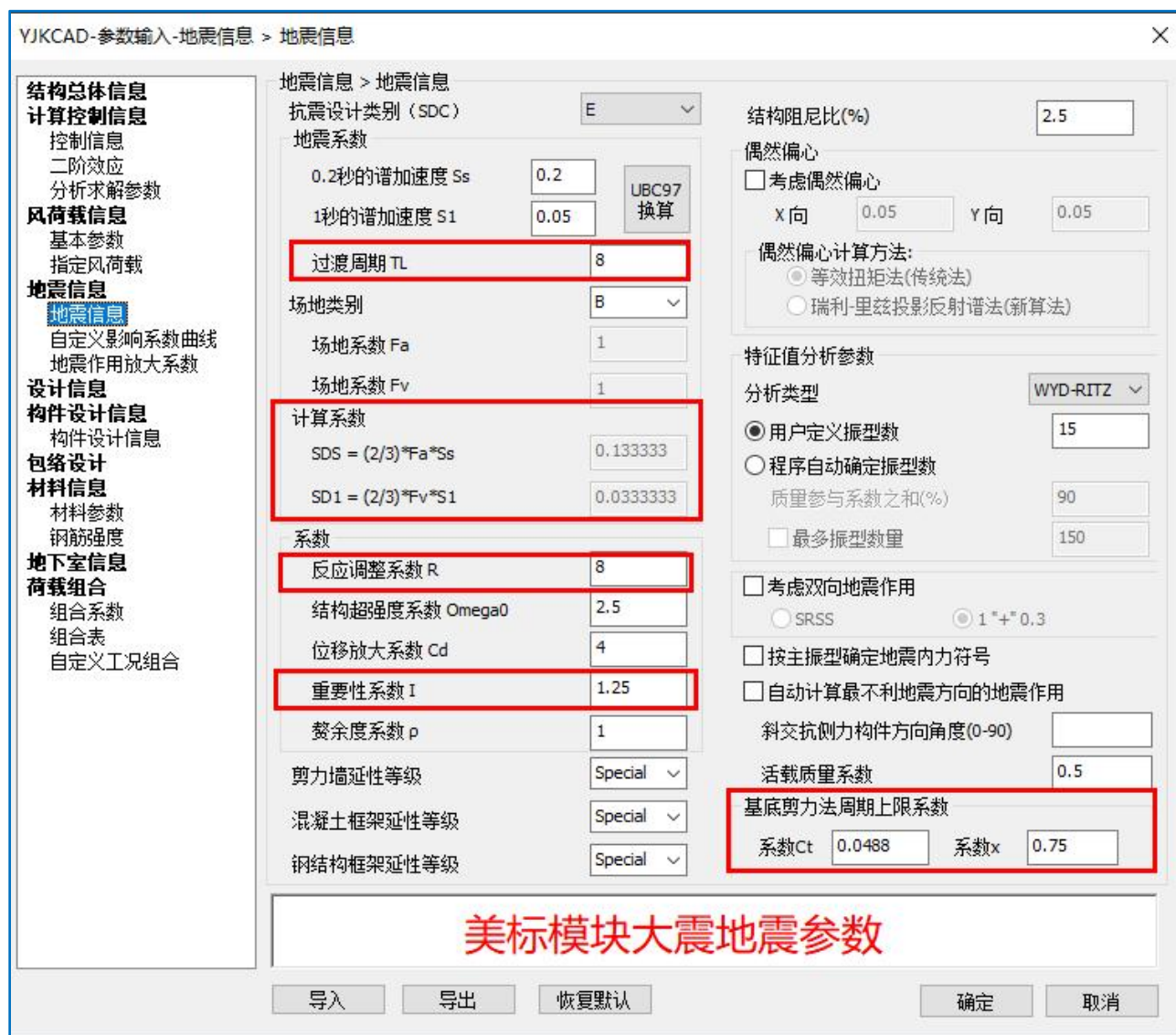


图 10 盈建科美标模块小震地震参数设置

以大震为例，进行手算等效抗侧力法在整体坐标 X 和 Y 方向地震力系数 Cs，地震参数在盈建科中的设置为图 10。R = 8，I_e = 1.25，S_{DS} = 0.1333，

在整体坐标 X 方向上，因为 T_x = 8.41262 s > T_L = 8s，

$$\text{所以 } C_s = \frac{S_{D1}T_L}{T^2\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0.0333 \times 8}{(8.41262)^2 \left(\frac{8}{1.25}\right)} = 0.000588 \quad (\text{Refer to ASCE7-10 } 12.8-4)$$

$$C_s = 0.044S_{DS}I_e = 0.044 \times 0.1333 \times 1.25 = 0.00733 < 0.01 \quad (\text{Refer to ASCE7-10 } 12.8-5)$$

所以大震情况下整体坐标 X 方向上需要进行 Cs 调整，则 Cs=0.01。

在整体坐标 Y 方向上，因为 T_y = 8.41262 s > T_L = 8s，

$$\text{所以 } C_s = \frac{S_{D1}T_L}{T^2\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0.0333*8}{(8.41262)^2\left(\frac{8}{1.25}\right)} = 0.000588 \quad (\text{Refer to ASCE7-10 } 12.8-4)$$

$$C_s = 0.044S_{DS}I_e = 0.044 \times 0.1333 \times 1.25 = 0.00733 < 0.01 \quad (\text{Refer to ASCE7-10 } 12.8-5)$$

所以大震情况下整体坐标 Y 方向上需要进行 Cs 调整，则 Cs=0.01。

因此，可知该模型在大震情况下 X、Y 两个方向上与小震情况下 X、Y 两个方向上的等效侧向法的地震力系数 Cs 均取下限值 0.01。在 Wmass 中查得总的质量为 736667.938t（详见图 10）。0.85 倍的等效抗侧力法求的地震力为

$$0.85V = 0.85C_sW = 0.85 \times 0.01 \times 736667.938 \times 10 = 62616.77KN$$

9	1	63.802	83.589	47.250	8653.1	671.3	1342.6	0.0	1.00
8	1	63.803	83.587	42.750	8662.1	672.1	1344.2	0.0	1.00
7	1	63.801	83.588	38.250	8685.0	671.9	1343.9	0.0	1.00
6	1	63.802	83.584	33.750	8713.3	676.2	1352.4	0.0	0.94
5	1	63.794	83.605	29.250	9327.3	679.2	1358.4	0.0	0.70
4	1	63.771	83.630	24.250	13584.9	681.1	1362.2	0.0	0.89
3	1	63.768	83.658	15.750	14180.2	1907.3	3814.6	0.0	3.09
2	1	63.691	83.326	7.500	4839.8	359.3	718.7	0.0	0.74
1	1	63.688	83.422	4.500	6649.1	359.3	718.7	0.0	1.00
合计					684217.1	52450.9	104901.8	0.0	
活载总质量 (t):					52450.879				
恒载总质量 (t):					684217.063				
附加总质量 (t):					0.000				
结构总质量 (t):					736667.938				
恒载产生的总质量包括结构自重和外加恒载									
活载质量 = 活荷载重力荷载代表值系数*活载等效质量									
总质量 = 恒载质量+活载质量+附加质量									

各层构件数量、构件材料和层高									

层号	塔号	梁数	柱数	支撑数	墙数	层高(m)	累计高度(m)		
110	1	24	20	8	0	2.900	530.000		
109	1	48	20	8	0	2.800	527.100		

图 10. 盈建科海外版美标模块 wmass 信息

结论：手算结果与盈建科海外版美标模块 wzq 中的首层地震剪力一致，误差为 0。盈建科海外版美标模块默认采用反应谱法计算地震力，而且能够在 X、Y 方向分别自动考虑美标等效抗侧力法 0.85 倍的调整；同时等效抗侧力法计算的地震力能够在 X、Y 方向分别自动考虑地震力的三个下限值调整。而在 ETBAS 中，需要手动对反应谱求得地震力进行调整，以反应“ASCE7-10 的 12.9.4.1 条，反应谱计算的基底剪力不应小于等效侧向力法的 0.85 倍”。以上是导致“盈建科海外版本大震与小震的地震加速度曲线不同，基底剪力相同，计算地震剪力却比 Etabs 偏大”的根本原因。

最后，总结一下海外规范对地震力调整的一些规定，以便读者查阅：

- (1) ASCE7-05 反应谱计算的地震剪力不应小于等效抗侧力法的 0.85 倍;
- (2)

ASCE7-10 反应谱计算的地震剪力不应小于等效抗侧力法的 0.85 倍;(3) 1302(泰标)反应谱计算的地震剪力不应小于等效抗侧力法的 0.85 倍;(4) SBC301(沙标)反应谱计算的地震剪力不应小于等效抗侧力法的 0.85 倍。

至此《海外项目系列(III):美标地震力的调整》介绍完毕,如有海外项目技术问题,可拨打盈建科技术热线 010-86489797 进行咨询。