



# ETABS 欧标混凝土框架裂缝计算要点详解

筑信达 郑翔

本文将基于 EN 1992-1-1 规范（以下简称 EC2）讨论钢筋混凝土梁、柱裂缝计算在 ETABS 中的实现细节。本文重点介绍程序如何实现规范的相关要求，解释设计细节中表格数据的含义。由于欧标涉及的公式参数非常繁杂、因此本文对公式参数不一一解释，各参数的取值和含义请参考具体规范条文。另外，本文不涉及软件操作说明。相关的操作请查看联机帮助。

## 1. 概述

进行混凝土梁、柱、支撑正常使用状态设计时，ETABS 会基于 EC2 规范验算构件混凝土和钢筋的应力限值、混凝土构件的裂缝宽度。正常使用状态的计算是基于混凝土和钢筋的应力应变关系为多段线性假定。对于承受轴力和双向弯矩作用下的构件，ETABS 程序会根据双向弯矩的合弯矩和轴力共同确定中和轴位置，此时的中和轴往往与截面主轴呈一定夹角，程序将采用迭代计算的方式确定最终中和轴位置。

当在构件覆盖项中选择考虑长期荷载效应时，正常使用状态验算的混凝土强度将考虑线性徐变的影响。

## 2. 正常使用状态下的应力限值

为避免混凝土构件发生纵向开裂、微裂缝、较高的徐变，对结构功能产生不可接受的影响，欧洲规范对混凝土压应力有限值要求。

根据 EC2 第 7.2-2 条，对暴露等级为 XD、XF 和 XS 的地区，在正常使用状态标准组合作用下，其混凝土的压应力不应超过  $k_1 f_{ck}$ ，其中  $k_1$  的值由各国附录决定，建议值为 0.6。

根据 EC2 第 7.2-3 条，在正常使用状态准永久组合作用下，混凝土的压应力小于  $k_2 f_{ck}$  时，可认为徐变是线性的；当混凝土的压应力大于  $k_2 f_{ck}$  时，应考虑非线性徐变。其中  $k_2$  的值由各国附录决定，建议值为 0.45。

ETABS 程序会校核正常使用状态下混凝土的压应力：

$$\sigma_c \leq \sigma_{c,limit}$$

其中： $\sigma_{c,limit}$  为混凝土的压应力限值，默认取  $0.6f_{ck}$ 。若用户需验算正常使用状态准永久组合，可通过设计覆盖项将  $k_1$  值改为 0.45（图 1），间接考虑 EC2 第 7.2-3 条混凝土压应力限值要求。

E 混凝土框架设计覆盖项 - Eurocode 2-2004

	选项	数值
15	1st-Order Moment Distribution Coefficient, c Mi...	0
16	Reinforcement Contribution Factor, Ks Major	0
17	Reinforcement Contribution Factor, Ks Minor	0
18	Cracking Factor, Kc Major	0
19	Cracking Factor, Kc Minor	0
20	Effective Creep Ratio, Phi_ef	0
21	Serviceability: Conc. Comp. Stress Limit k1	0.45
22	Serviceability: Steel Tensile Stress Limit k3	0

图 1 混凝土框架设计覆盖项

为避免钢筋非弹性应变、构件裂缝或变形过大，根据 EC2 第 7.2-5 条，在正常使用状态标准组合作用下，纵向钢筋的拉应力不应超过  $k_3 f_{yk}$ ，其中  $k_3$  的值由各国附录决定，建议值为 0.8。



ETABS 程序会校核正常使用状态下钢筋的拉应力:

$$\sigma_s \leq \sigma_{s,limit}$$

其中:  $\sigma_{s,limit}$  为钢筋的拉应力限值, 默认取  $0.8f_{yk}$ 。

以某框架梁为例, 当采用欧标验算该梁裂缝时, 在裂缝设计细节, 程序会输出相应的应力限值验算表格, 如下所示:

Stress Limitation

Neutral Axis Angle deg	Neutral Axis Depth mm	$\sigma_c$ Limit MPa	$\sigma_c$ Compr + MPa	Status	$\sigma_s$ Limit MPa	$\sigma_s$ Tens + MPa	Status
0	224.3	18	12.26	OK	400	316.93	OK

上表中,  $\sigma_{c,limit}$  为混凝土压应力限值, 默认取  $0.6f_{ck}$ , 本例  $f_{ck}=30\text{MPa}$ , 因此  $\sigma_{c,limit}=18\text{MPa}$ 。 $\sigma_{c,Compr+}$  为混凝土压应力最大值。 $\sigma_{s,limit}$  为钢筋拉应力限值, 默认取  $0.8f_{yk}$ , 本例  $f_{yk}=500\text{MPa}$ , 因此  $\sigma_{s,limit}=400\text{MPa}$ 。 $\sigma_{s,Tens+}$  为钢筋拉应力值。

### 3. 基于裂缝控制的最小钢筋面积

欧洲规范 EC2 第 7.3.2 条规定, 当进行裂缝控制时, 需保证构件配筋满足裂缝控制的最小配筋面积。公式原理基于混凝土即将开裂时的拉应力合力等于纵向钢筋刚好屈服的拉力合力。

裂缝控制所需最小配筋量按下式计算:

$$A_{s,min} = \frac{k_c k f_{ct,eff} A_{ct}}{\sigma_s} \quad (\text{EC2 Eq. 7.1})$$

其中:

$A_{ct}$  为未开裂截面的混凝土受拉区面积;

$f_{ct,eff} = f_{ctm}$  为混凝土轴心抗拉强度平均值, 如果预期开裂时间早于 28 天, 可采用  $f_{ctm}(t)$ ;

$\sigma_s = f_{yk}$ , 为钢筋的屈服强度;

$k$ , 当截面高度小于 300mm 时取 1.0, 当截面高度大于 800mm 时取 0.65, 当截面高度在 300mm~800mm 之间时插值;  
 $k_c$ , 考虑截面应力分布的相关系数; 轴心受拉时  $k_c = 1.0$ ; 受弯时  $k_c = 0.4$ ;

当压弯拉弯时,

$$k_c = 0.4 \left[ 1 - \frac{\sigma_c}{k_1 \left( \frac{h}{h^*} \right) f_{ct,eff}} \right] \leq 1.0$$

式中:  $\sigma_c$  为正常使用状态下, 轴力  $N_{Ed}$  作用下的混凝土平均应力, 受压为正;

$k_1$  为考虑轴力影响的相关系数, 当为轴压力时取 1.5, 当为轴拉力时,  $k_1 = \frac{2h^*}{3h}$ , 其中  $h^* = \min(1.0, h)m$

以某框架梁为例, 当采用欧标验算该梁裂缝时, ETABS 程序会输出相应的最小钢筋细节表格, 如下所示:

Minimum Reinforcement

$\sigma_s$ MPa	$k_c$ Unitless	$k$ Unitless	$f_{ct,eff}$ MPa	$A_{ct}$ cm <sup>2</sup>	$A_{s,min}$ cm <sup>2</sup>	$A_s$ cm <sup>2</sup>	Status
500	0.4	0.761517	2.9	495.6	0.9	6.3	OK



#### 4. 裂缝宽度计算

根据欧洲规范 EC2 第 7.3.4 条，可采用特征裂缝宽度描述混凝土构件的裂缝。裂缝宽度计算公式为：

$$W_k = S_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \quad (\text{EC2 Eq. 7.8})$$

其中： $S_{r,max}$  为裂缝最大间距；

$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$  为裂缝最大间距内钢筋与混凝土的变形差

##### 4.1 钢筋与混凝土应变差的计算

裂缝最大间距内钢筋与混凝土的应变差  $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$  按下式计算：

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0.6 \frac{\sigma_s}{E_s} \quad (\text{EC2 Eq. 7.9})$$

其中： $\sigma_s$  开裂截面受拉钢筋的应力

$$k_t = 0.4 \quad (\text{长期开裂})$$

$$\rho_{p,eff} \text{ 有效配筋率: } \rho_{p,eff} = \frac{A_s + \xi_1^2 A_p}{A_{c,eff}}$$

$A_{c,eff}$  纵向受拉钢筋处的混凝土受拉区有效面积， $A_{c,eff} = b \times h_{c,ef}$

$$h_{c,ef} = \min \left\{ 2.5(h-d); \frac{h-x}{3}; \frac{h}{2} \right\}$$

短期开裂时， $\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}}$ ；长期开裂时， $\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} (1 + \varphi_{ef})$ ，其中  $\varphi_{ef}$  为混凝土徐变系数，程序默认取 1.21，用户

可通过覆盖项人为修改该数值。

以某框架梁为例，当采用欧标验算该梁裂缝时，ETABS 程序会输出相应的裂缝宽度计算表格，如下所示：

Crack Width (Part 1 of 2)

$k_t$ Unitless	$\alpha_e$ Unitless	$h_{c,ef}$ mm	$\rho_{p,eff}$ Unitless	$A_{c,eff}$ cm <sup>2</sup>	$A_s$ cm <sup>2</sup>	$0.6\sigma_s / E_s$ Unitless	$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$ Unitless
0.4	13.393939	107.5	0.042077	309.5	13	0.000951	0.001369

上表中， $\alpha_e$  是钢筋和混凝土弹性模量比值，由于是考虑长期开裂，该比值考虑了徐变系数影响， $\rho_{p,eff}$  是有效配筋率，

$A_{c,eff}$  是纵向受拉钢筋处的混凝土受拉区有效面积。

##### 4.2 裂缝最大间距的计算

当受压区的有粘结钢筋的间距  $\leq 5(c + 0.5\phi)$  时，最大裂缝间距按下式计算：

$$s_{r,max} = k_3 c + \frac{k_1 k_2 k_4 \phi}{\rho_{p,eff}} \quad (\text{EC2 Eq. 7.11})$$

其中： $c$  为纵向受力钢筋的保护层厚度， $\phi$  为纵向钢筋直径。



当受压区的有粘结钢筋的间距  $> 5(c + 0.5\phi)$  或受拉区采用无粘结钢筋时，最大裂缝间距按下式计算：

$$s_{\max} = 1.3(h - x) \quad (\text{EC2 Eq. 7.14})$$

其中， $(h-x)$ 为中和轴到受拉区边缘的距离（参见图2）。

目前 ETABS 只按照 Eq. 7.11 计算  $S_{r,\max}$ 。一般来说按照 Eq. 7.11 来计算是足够的，假定钢筋直径为 20mm，纵向钢筋保护层厚度为 40mm，则  $5 * (40 + 0.5 * 20) = 250\text{mm}$ 。该间距对大部分构件的配筋方案都能满足。

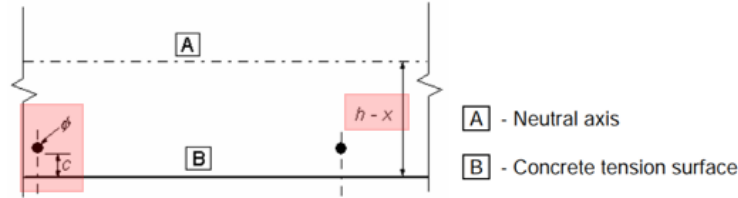


图2 裂缝宽度计算相关参数图示

以某框架梁为例，当采用欧标验算该梁裂缝时，ETABS 程序会输出相应的裂缝宽度计算表格，如下所示：

Crack Width (Part 2 of 2)

Clear Cover mm	k <sub>1</sub> Unitless	k <sub>2</sub> Unitless	Bar Diameter mm	S <sub>r,max</sub> mm	W <sub>k</sub> mm	W <sub>k</sub> Limit mm	Status
35	0.8	0.5	16	183.6	0.3	0.4	OK

上表中，Clear Cover 是纵向受力钢筋的保护层厚度  $c$ ；Bar Diameter 是纵向钢筋直径  $\phi$ （当验算梁裂缝时，该值来源于设计覆盖项；当柱采用校核配筋验算裂缝时，该值来源于柱截面定义；当柱采用设计配筋验算裂缝时，该值根据柱截面定义的钢筋根数，按满足裂缝要求所需的最小配筋值，反算所需柱纵筋直径，此时柱纵筋直径可能不是整数直径）； $S_{r,\max}$  是计算得到的最大裂缝间距； $W_k$  是裂缝宽度计算值； $W_k$  Limit 是裂缝宽度限值，该数值可通过 EC2 表 7.1 确定，见本文 4.3 节。

#### 4.3 裂缝宽度限值

下表为 EC2 表 7.1 关于裂缝宽度控制的建议值，用户可根据构件的暴露类别，选择合理的裂缝限值，该限值可通过混凝土设计覆盖项进行修改。

暴露类别	混凝土结构构件	有粘结预应力构件
	准永久组合下裂缝限值(mm)	频域组合下裂缝限值(mm)
X0,XC1	0.4	0.2
XC2,XC3,XC4		
XD1,XD2, XS1,XS2,XS3	0.3	decompression (卸压)

## 5. 挠度计算

当构件需通过计算确定挠度时，可采用下式计算：

$$\alpha = \zeta\alpha_{II} + (1 - \zeta)\alpha_I \quad (\text{EC2 Eq. 7.18})$$

式中：

$\alpha$  为所考虑的变形参数，例如可为应变、曲率、转角（作为简化， $\alpha$  也可取为挠度）；

$\alpha_I$ ， $\alpha_{II}$  分别为未开裂和完全开裂状态下计算的参数值；

$\zeta$  为考虑截面受拉刚化的相关系数， $\zeta = 1 - \beta(\sigma_{sr}/\sigma_s)^2$ ；



$\sigma_s$  为按开裂截面计算的钢筋拉应力；

$\sigma_{sr}$  为引发初始开裂的荷载组合作用下，按开裂截面计算的钢筋拉应力；

受弯时， $\sigma_{sr}/\sigma_s$  可采用  $M_{cr}/M$  代替，纯拉时可采用  $N_{cr}/N$  代替，其中  $M_{cr}$  为开裂弯矩， $N_{cr}$  为开裂轴力，如果构件未开裂，则  $\zeta = 0$

$\beta$  为考虑荷载持续时间或反复荷载对平均应变影响的系数，对于单个短期荷载  $\beta = 1.0$

ETABS 程序可通过设置考虑长期开裂影响的荷载工况（图 3）以及考虑短期开裂影响的荷载工况（图 4），直接计算混凝土梁和楼板的长期挠度。程序根据构件配筋，迭代计算构件的弯曲刚度修正系数，进而计算考虑了弯曲刚度修正系数后的位移，直到两次计算得到的最大位移差值满足容差要求或者达到最大迭代数量，则终止计算。

若想详细了解程序计算原理，可参考往期的技术通讯文章：[SAFE 中考虑徐变和收缩效应的长期挠度分析](#)。

另外，EC2 第 7.4.1 条有混凝土构件挠度限值的详细规定，用户若有需要可查阅规范具体条款，本文在此不细述。

其实，EC2 第 7.4.2 条规定，对跨度小于 7.5m 的构件，满足规范规定的跨高比  $l/d$  后，不需再验算构件挠度。具体计算细节，用户可查阅 EC2 第 7.4.2 节，本文在此不细述。

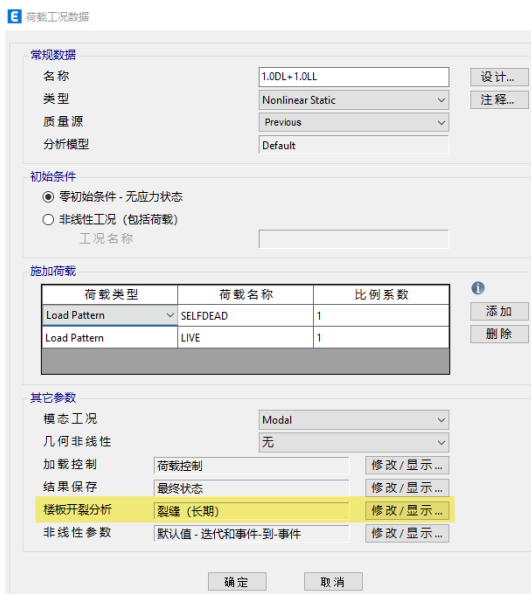


图 3 考虑长期开裂影响的荷载工况

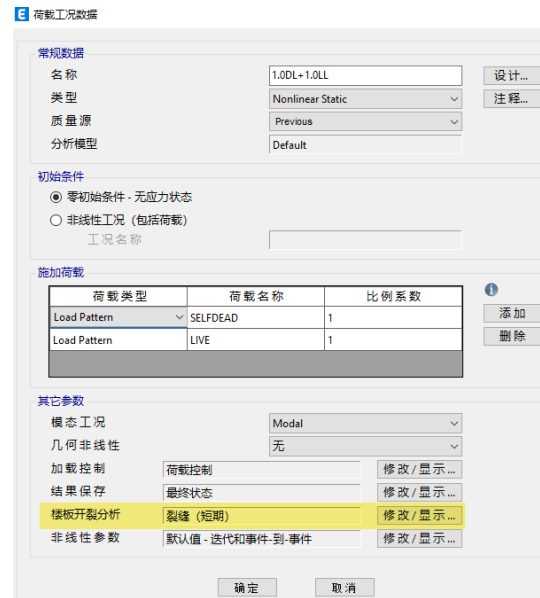


图 4 考虑短期开裂影响的荷载工况

## 6. 裂缝验算相关的设计覆盖项（裂缝验算）

ETABS 软件可根据 EC2 进行混凝土构件的裂缝计算，图 5 是 ETABS 中跟裂缝验算相关的混凝土框架设计覆盖项，各项的意义见表 1。



20	Effective Creep Ratio, Phi_ef	0
21	Serviceability: Conc. Comp. Stress Limit k1	0
22	Serviceability: Steel Tensile Stress Limit k3	0
23	Serviceability: Exposure Class	XC1
24	Serviceability: Crack Width Limit	0.4
25	Serviceability: Concrete Age at Cracking	0
26	Serviceability: Cement Type	Class R
27	Serviceability: Loading Duration	Long Term
28	Longitudinal Rebar Size Top	16
29	Longitudinal Rebar Size Bottom	16
30	Is Longitudinal Rebar Ribbed?	Program Determined

图 5 混凝土框架设计覆盖项（裂缝验算）

表 1 混凝土框架设计覆盖项（裂缝验算）

NO.	项	默认值及说明
20	Effective Creep Ratio, Phi_ef	徐变系数，“程序确定”取1.21，当第27项荷载考虑长期效应时，会影响裂缝计算值
21	Serviceability: Conc. Comp. Stress Limit k1	对应 $k_1 f_{ck}$ 中的 $k_1$ ，确定混凝土压应力限值，默认0.6
22	Serviceability: Steel Tensile Stress Limit k3	对应 $k_3 f_{yk}$ 中的 $k_3$ ，确定钢筋拉应力限值，默认0.8
23	Serviceability: Exposure Class	暴露类别，参考EC2表7.1N，默认取X0
24	Serviceability: Crack Width Limit	裂缝宽度限值，参考EC2表7.1N，默认0.4
25	Serviceability: Concrete Age at Cracking	开始裂缝计算时的混凝土龄期，程序默认取28days，该数值会影响 $f_{ct,eff}$ 计算
26	Serviceability: Cement Type	水泥型号，参考EC2 Eq.3.2
27	Serviceability: Loading Duration	荷载作用时间，分为长期荷载（Long Term）和短期荷载（Short Term），对应准永久组合和标准组合
28	Longitudinal Rebar Size Top	顶部纵向钢筋直径
29	Longitudinal Rebar Size Bottom	底部纵向钢筋直径
30	Is Longitudinal Rebar Ribbed?	纵向钢筋是否带肋

## 7. 裂缝验算计算书

正常使用状态下混凝土构件的裂缝、混凝土应力、钢筋应力均可通过命令【设计>混凝土框架设计>显示设计信息】，在视窗中显示（图 6）。此外，ETABS 还可以输出每个构件在所有荷载组合下的设计细节数据（图 7），这些结果以表格文档的方式显示，可转化为 Word 格式保存为计算书。操作方式是，在显示设计结果的视窗中，选择某根构件，点击右键，在弹出的对话框中选择“Crack Width”，然后点击“细节”按钮，即出现如图 7 所示的对话框。



混凝土梁设计信息 (Eurocode 2-2004)

楼层: 3 截面: B-700X300-2  
梁: B19

COMBO ID	STATION LOC	CRACK WIDTH RATIO	CONC STRESS RATIO (COMP+)	STEEL STRESS RATIO (TENS+)	TOP REINF. RATIO	BOT REINF. RATIO
CO43	0.0000	0.517	0.577	0.671	0	0.007
CO43	0.4429	0.561	0.618	0.719	0	0.007
CO43	0.8857	0.602	0.656	0.765	0	0.007
CO43	0.8857	0.603	0.658	0.765	0	0.007
CO43	1.3286	0.618	0.671	0.78	0	0.007
CO43	1.7714	0.622	0.631	0.722	0	0.007
CO43	1.7714	0.625	0.621	0.752	0	0.007
CO43	2.2143	0.601	0.655	0.762	0	0.007
CO43	2.6571	0.57	0.627	0.729	0	0.007
CO43	2.6571	0.568	0.625	0.727	0	0.007
CO43	3.1000	0.495	0.556	0.647	0	0.007
CO43	3.5429	0.419	0.485	0.564	0	0.007
CO43	3.5429	0.415	0.481	0.559	0	0.007
CO43	3.9857	0.294	0.368	0.428	0	0.007
CO43	4.4286	0.602	0.343	0.645	0	0.003

Strength  Crack Width

覆盖项  细节

确定 取消

图 6 ETABS 混凝土梁设计信息 (Crack Width)

ETABS Concrete Frame Design  
Eurocode 2-2004 梁截面设计 (Crack Width Summary)

梁单元细节

Level	单元	Unique Name	Section ID	Combo ID	Station Loc	长度 (mm)	LLRF	Type
3	B19	104	B-700X300-2	CO43	1771.4	6200	1	DC Medium

Section Properties

b (mm)	h (mm)	b <sub>f</sub> (mm)	d <sub>s</sub> (mm)	d <sub>ct</sub> (mm)	d <sub>cb</sub> (mm)
300	700	300	0	43	43

材料属性

E <sub>c</sub> (MPa)	f <sub>ck</sub> (MPa)	Lt.Wt Factor (Unitless)	E <sub>s</sub> (MPa)	f <sub>yk</sub> (MPa)	f <sub>ywk</sub> (MPa)
33000	30	1	200000	500	500

设计规范参数

γ <sub>c</sub>	γ <sub>s</sub>	γ <sub>cE</sub>	α <sub>CC</sub>	α <sub>CT</sub>	α <sub>LCC</sub>	α <sub>LCT</sub>
1.5	1.15	1.2	1	1	0.85	0.85

扭矩和抗扭配筋 T<sub>Ed</sub>

Torsion T <sub>Ed</sub> (kNm)	T <sub>Ed</sub> (kNm)	Rebar A <sub>s</sub> (mm <sup>2</sup> )	Rebar A <sub>w</sub> (mm <sup>2</sup> )	Area A <sub>c</sub> (cm <sup>2</sup> )	Perimeter, u (mm)	Perimeter, u <sub>c</sub> (mm)	t <sub>cr</sub> (mm)

图 7 ETABS 输出的设计细节

以下是对设计细节的详细说明。

**Beam Element Details**

Level	Element	Unique Name	Section ID	Combo ID	Station Loc	Length (mm)	LLRF	Type
3	B19	104	B-700X300-2	CO43	1771.4	6200	1	DC Medium

上表是单元的基本信息，前七项来自模型定义，LLRF（活荷载折减系数）由程序计算，Type（框架类型）来自设计覆盖项定义。

**Section Properties**

b (mm)	h (mm)	b <sub>f</sub> (mm)	d <sub>s</sub> (mm)	d <sub>ct</sub> (mm)	d <sub>cb</sub> (mm)
300	700	300	0	43	43

上表是截面尺寸信息，来自截面定义。d<sub>ct</sub>是指截面边缘到受拉纵筋中心的距离，d<sub>cb</sub>是指截面边缘到受压纵筋中心的距离。

**Material Properties**

E <sub>c</sub> (MPa)	f <sub>ck</sub> (MPa)	Lt.Wt Factor (Unitless)	E <sub>s</sub> (MPa)	f <sub>yk</sub> (MPa)	f <sub>ywk</sub> (MPa)
33000	30	1	200000	500	500

上表是材料信息，来自材料定义。其中 Lt.Wt Factor 指轻质混凝土系数，对于普通混凝土取 1.0。

**Design Code Parameters**

γ <sub>c</sub>	γ <sub>s</sub>	γ <sub>cE</sub>	α <sub>CC</sub>	α <sub>CT</sub>	α <sub>LCC</sub>	α <sub>LCT</sub>
1.5	1.15	1.2	1	1	0.85	0.85

上表是设计规范参数，程序有默认取值，可通过设计首选项或覆盖项修改。这些参数会直接影响设计结果。其中：γ<sub>c</sub>

指混凝土强度分项系数，欧标建议持久和短暂工况取 1.5、对于偶然工况取 1.2、程序默认值为 1.5；γ<sub>s</sub>指钢筋材料强度分项

系数，欧标建议持久和短暂工况取 1.15、对于偶然工况取 1.0、程序默认值为 1.15；γ<sub>cE</sub>指混凝土弹性模量分项系数，程序默



认为 1.2，名义刚度法计算弯矩放大系数时，会用到该数值计算弹性模量设计值，参见 EC2 式 (5.27)； $\alpha_{CC}$  指考虑混凝土抗压强度长期效应不利影响的系数，程序默认值为 1.0； $\alpha_{CT}$  指考虑混凝土抗拉强度长期效应不利影响的系数，程序默认值为 1.0； $\alpha_{LCC}$  指考虑轻质混凝土抗压强度长期效应不利影响的系数，程序默认值为 0.85； $\alpha_{LCT}$  指考虑轻质混凝土抗拉强度长期效应不利影响的系数，推荐值为 0.85。

**Design Reinforcement**

Top As mm <sup>2</sup>	Bottom As mm <sup>2</sup>
0	1302

上表是裂缝验算的配筋信息。Top As 是指顶部钢筋所需配筋为 0，Bottom As 是指底部钢筋所需配筋为 1302mm<sup>2</sup>

**Moments**

M <sub>y,Ed</sub> kN-m	M <sub>crack</sub> kN-m	M <sub>max,Rd</sub> kN-m	Status
240.2706	86.0808	419.9305	Cracked

上表是弯矩信息。M<sub>y,Ed</sub> 是裂缝验算的弯矩标准值，M<sub>crack</sub> 是截面对应的开裂弯矩值，M<sub>max,Rd</sub> 是最大受弯承载力。当 M<sub>crack</sub><M<sub>y,Ed</sub><M<sub>max,Rd</sub> 时，表示截面开裂 (Cracked)。

**Stress Limitation**

Neutral Axis Angle deg	Neutral Axis Depth mm	$\sigma_c$ Limit MPa	$\sigma_c$ Compr + MPa	Status	$\sigma_s$ Limit MPa	$\sigma_s$ Tens + MPa	Status
0	224.3	18	12.26	OK	400	316.93	OK

上表是应力限值表。其中，Neutral Axis Angle 是截面中和轴与截面局部 3 轴的夹角，由于框架梁是单向受弯，因此夹角为 0；当构件为双向受弯构件，比如框架柱时，Neutral Axis Angle 将由程序自动迭代计算，其数值将不是零。Neutral Axis Depth 是截面受压区高度。 $\sigma_{climit}$  为混凝土压应力限值，默认取 0.6f<sub>ck</sub>，本例 f<sub>ck</sub>=30MPa，因此  $\sigma_{climit}$ =18MPa。 $\sigma_{cCompr+}$  为混凝土压应力最大值。 $\sigma_{slimit}$  为钢筋拉应力限值，默认取 0.8f<sub>yk</sub>，本例 f<sub>yk</sub>=500MPa，因此  $\sigma_{slimit}$ =400MPa。 $\sigma_sTens+$  为钢筋拉应力值。

**Minimum Reinforcement**

$\sigma_s$ MPa	k <sub>c</sub> Unitless	k Unitless	f <sub>ct,eff</sub> MPa	A <sub>ct</sub> cm <sup>2</sup>	A <sub>s,min</sub> cm <sup>2</sup>	A <sub>s</sub> cm <sup>2</sup>	Status
500	0.4	0.72	2.9	984.3	1.6	13	OK

上表是最小配筋计算表。其中  $\sigma_s = f_{yk} = 500MPa$ ，A<sub>ct</sub> 为未开裂截面的混凝土受拉区面积、程序自动计算，A<sub>s,min</sub> 为裂缝控制所需最小配筋量，A<sub>s</sub> 为抗裂计算配筋 13.02cm<sup>2</sup>，对应 Design Reinforcement 表中配筋数据。

**Crack Width (Part 1 of 2)**

k <sub>t</sub> Unitless	$\alpha_e$ Unitless	h <sub>c,ef</sub> mm	$\rho_{p,eff}$ Unitless	A <sub>c,eff</sub> cm <sup>2</sup>	A <sub>s</sub> cm <sup>2</sup>	0.6 $\sigma_s$ / E <sub>s</sub> Unitless	$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$ Unitless
0.4	13.393939	107.5	0.042077	309.5	13	0.000951	0.001369

上表是裂缝宽度计算表格 (1/2)，各参数具体含义见本文第 3.2 节。需要注意的是，该构件是考虑长期荷载效应作用下的裂缝验算，因此 k<sub>t</sub> 取 0.4， $\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}}(1 + \varphi_{cf}) = \frac{200000 \times (1 + 1.21)}{33000} = 13.394$ 。



Crack Width (Part 2 of 2)

Clear Cover mm	k-1 Unitless	k <sub>2</sub> Unitless	Bar Diameter mm	S <sub>r,max</sub> mm	W <sub>k</sub> mm	W <sub>k</sub> Limit mm	Status
35	0.8	0.5	16	183.6	0.3	0.4	OK

上表是裂缝宽度计算表格（2/2），上表中，Clear Cover 是纵向受力钢筋的保护层厚度  $c$ ；Bar Diameter 是纵向钢筋直径  $\phi$ ； $S_{r,max}$  是最大裂缝间距； $W_k$  是裂缝宽度计算值； $W_k$  Limit 是裂缝宽度限值，该数值可通过 EC2 表 7.1 确定。

## 8. 小结

综上所述，ETABS 会基于 EC2 规范，验算构件混凝土和钢筋的应力限值、混凝土的裂缝宽度，也可通过设置长期开裂影响和短期开裂影响的荷载工况，直接计算混凝土构件的长期挠度。此外，本文 ETABS 输出的裂缝宽度设计细节信息进行了解释，据此用户可更深入地了解程序的计算过程和结果。

## 参考资料

- [1] 贡金鑫、魏巍巍、胡家顺. 中美欧混凝土结构设计[M]. 北京：中国建筑工业出版社，2007.
- [2] 贡金鑫、车轶、李荣庆. 混凝土结构设计（按欧洲规范）[M]. 北京：中国建筑工业出版社，2009.
- [3] Eurocode 2: Design of concrete structures（Part 1-1: General rules and rules for buildings）. EN 1992-1-1 [S]. 2004.
- [4] Computers & Structures Inc. ETABS v22.1.0 联机帮助文档 Concrete Frame Design Manual(Eurocode 2-2004 with 8-2004).