

# 基于欧标的螺栓承载力校核

筑信达 张志国 吴文博

目前，IDEA 支持基于美标 AISC、欧标 EN、加拿大规范 CISC 以及澳大利亚规范 AS 的钢结构节点校核，具体包括：螺栓或锚栓校核、焊缝校核、柱脚节点的混凝土校核等等。为了让广大用户深入学习和理解关于钢结构节点校核的更多细节，本文将重点介绍基于欧标 EN 1993-1-8 的螺栓承载力校核在 IDEA 中的具体实现方法。关于其它组件（如锚栓、焊缝等）或规范（如 AISC、CISC 等）的节点校核内容，我们将在后续文章中向大家一一介绍，敬请关注！

## 1 普通螺栓的承载力

### 1.1 抗拉承载力设计值

$$F_{t,Rd} = 0.9 f_{ub} A_s / \gamma_{M2} \quad (\text{EC 1993-1-8 表 3.4})$$

上述公式中的 0.9 即 EC 1993-1-8 表 3.4 中的系数  $k_2$  的取值。该系数的取值依据为：沉头螺栓 0.63，其余螺栓 0.9。由于 IDEA 中的螺栓连接不采用沉头螺栓，故  $k_2$  恒为 0.9。

$f_{ub}$  为螺栓的极限强度，与其性能等级有关，用户可在 IDEA 的材料列表中查看。以性能等级为 10.9 的螺栓为例，其极限强度  $f_{ub}=100 \times 10=1000\text{MPa}$ ，屈服强度  $f_{yb}=1000 \times 0.9=900\text{MPa}$ 。

$A_s$  为螺栓在螺纹处的有效面积，与其公称直径  $d$ 、有效直径  $d_e$  及螺纹间距  $p$  有关。计算公式如下所示：

$$d_e = d - \frac{13}{24} \sqrt{3} p \quad A_s = \frac{\pi d_e^2}{4}$$

用户可在 IDEA 的螺栓列表中查看拉应力面积（Tensile stress area），即有效面积  $A_s$ 。以公称直径为 24mm 的螺栓为例，其有效直径  $d_e=24-13 \times 1.732 \times 3 / 24=21.19\text{mm}$ ，有效面积  $A_s=3.1416 \times 21.19^2 / 4=353\text{mm}^2$ 。

$\gamma_{M2}$  为螺栓承载力的分项安全系数，详见 EC 1993-1-8 表 2.1，推荐取值 1.25。用户可根据需要在 IDEA 的规范设置（Code setup）中修改默认值（1.25）。

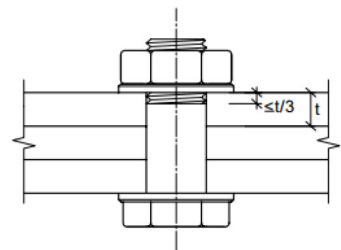
### 1.2 抗冲切承载力设计值

$$B_{p,Rd} = 0.6 \pi d_m t_p f_u / \gamma_{M2} \quad (\text{EC 1993-1-8 表 3.4})$$

螺栓冲切系指螺栓头或螺母在拉力作用下对与之相接触的板件所产生的横向剪切作用。如右图所示，螺栓在拉力作用下对其下部板件的横向剪力可能导致板件发生剪切破坏。从上式可以看出，EC 1993-1-8 假设该剪切破坏面为沿螺栓轴向的圆柱面，其直径为  $d_m$ ，高度为  $t_p$ 。

$d_m$  为螺栓头的直径（Head diameter）与对角直径（Head diagonal diameter）的平均值，用户可在 IDEA 的螺栓列表中查看。以公称直径为 24mm 的螺栓为例，其螺栓头的直径为 41mm，对角直径为 45mm，故二者平均值  $d_m=(41+45)/2=43\text{mm}$ 。

$t_p$  和  $f_u$  分别为与螺栓头或螺母相接触的板件的厚度和板件的极限强度。其中，板件的极限强度与钢材牌号有关，用户可在 IDEA 的材料列表中查看。以常用的钢材牌号 S 355 为例，其极限强度  $f_u=490\text{Mpa}$ 。



### 1.3 单个剪切面的抗剪承载力设计值

$$F_{v,Rd} = \beta_p \alpha_v f_{ub} A_s / \gamma_{M2} \quad (\text{EC 1993-1-8 表 3.4})$$

上述公式用于计算单个剪切面的抗剪承载力设计值。对于 N 个剪切面的情况，螺栓总的抗剪承载力等于上述承载力的 N 倍，用于计算螺栓的抗剪承载比或拉剪承载比。

对于默认勾选的【螺纹处剪切面（Shear plane in thread）】选项，上式中的  $A_s$  即螺栓在螺纹处的有效面积  $A_s$ 。如果用户取消该选项，IDEA 将采用螺栓的毛截面面积 A 替换上述有效面积  $A_s$ 。用户可在 IDEA 的螺栓列表中查看毛截面面积（Gross



Cross-section area)。

$\alpha_v$  为考虑剪切面位置及螺栓性能等级的抗剪承载力折减系数。具体来讲，对于螺纹处剪切面  $A_s$ ，螺栓性能等级为 4.5/5.6/8.8 时， $\alpha_v$  取 0.6；螺栓性能等级为 4.8/5.8/6.8/10.9 时， $\alpha_v$  取 0.5。对于非螺纹处的剪切面  $A$ ， $\alpha_v$  统一取为 0.6。

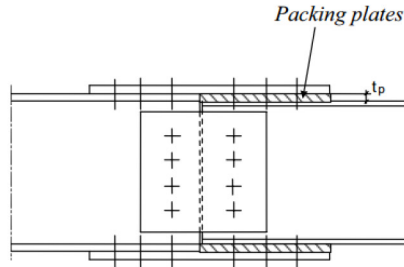


图 1 填板 (Packing plates) 示意图

如图 1 所示， $\beta_p$  为考虑填板 (Packing plate) 作用的抗剪承载力折减系数。当填板厚度  $t_p$  大于螺栓公称直径  $d$  的  $1/3$  时， $\beta_p$  的计算公式如下所示：

$$\beta_p = \frac{9d}{8d + 3t_p} \leq 1.0 \quad (\text{EC 1993-1-8 式 3.3})$$

默认情况下，IDEA 忽略上述填板对螺栓抗剪承载力的折减。如需考虑填板作用，用户可在 IDEA 的规范设置 (Code setup) 中勾选【在 FvRd 计算中考虑  $\beta_p$  (Apply  $\beta_p$  influence in FvRd)】选项。

#### 1.4 承压承载力设计值

$$F_{b,Rd} = k_1 \alpha_b f_u dt / \gamma_{M2} \quad (\text{EC 1993-1-8 表 3.4})$$

如图 2 所示， $k_1$  用于考虑垂直于内力方向的螺栓边距  $e_2$  和孔距  $p_2$  对承压承载力的影响。计算公式如下所示：

$$k_1 = \min(2.8 \frac{e_2}{d_0} - 1.7, 1.4 \frac{p_2}{d_0} - 1.7, 2.5) \quad (\text{EC 1993-1-8 表 3.4})$$

其中， $d_0$  为螺栓孔径 (Hole for bolt)，用户可在 IDEA 的螺栓列表中查看。

$t$  为承压板件的厚度，IDEA 自动考虑不同受力方向中承压板件 (总) 厚度的最小值。

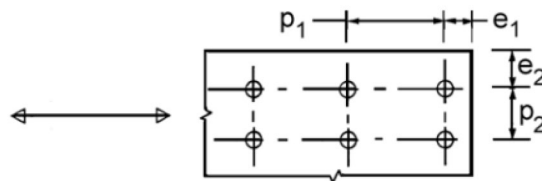


图 2 螺栓布置与内力方向示意图

如图 2 所示， $\alpha_b$  用于考虑沿内力方向的螺栓边距  $e_1$  和孔距  $p_1$  对承压承载力的影响。计算公式如下所示：

$$\alpha_b = \min(\frac{e_1}{3d_0}, \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}, f_{ub} / f_u) \quad (\text{EC 1993-1-8 表 3.4})$$

如需忽略  $\alpha_b$  对承压承载力的影响，用户可在 IDEA 的规范设置 (Code setup) 中取消勾选【考虑  $\alpha_b$  的承压校核 (Bearing check with  $\alpha_b$ )】选项，即  $\alpha_b$  恒为 1.0。

最后，如果螺栓孔型采用槽孔且内力方向垂直于槽孔长向，上述承压承载力应乘以 0.6 的折减系数。计算公式如下所示：

$$F_{b,Rd} = 0.6 k_1 \alpha_b f_u dt / \gamma_{M2} \quad (\text{EC 1993-1-8 表 3.4})$$

#### 1.5 承载比

针对普通螺栓的节点承载力校核，IDEA 支持两种不同的剪力传力方式 (Shear force transfer)。即：不考虑拉剪共同作用的



普通螺栓 (Bearing) 和考虑拉剪共同作用的普通螺栓 (Bearing-tension/shear interaction)。对于前者, IDEA 仅计算抗拉承载比和抗剪承载比; 对于后者, 尚需计算拉剪承载比。

抗拉承载比即: 螺栓的拉力设计值  $F_{t,Ed}$  与抗拉承载力设计值及抗冲切承载力设计值之间的较小者的比值。如下所示:

$$U_{tt} = \frac{F_{t,Ed}}{\min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd})}$$

抗剪承载比即: 螺栓的剪力设计值  $V$  与抗剪承载力设计值及承压承载力设计值之间的较小者的比值。如下所示:

$$U_{ts} = \frac{V}{\min(F_{v,Rd}, F_{b,Rd})}$$

拉剪承载比即: 螺栓的拉力设计值  $F_{t,Ed}$  与 1.4 倍抗拉承载力设计值的比值加螺栓的剪力设计值  $V$  与抗剪承载力设计值的比值。如下所示:

$$U_{tts} = \frac{F_{t,Ed}}{1.4F_{t,Rd}} + \frac{V}{F_{v,Rd}}$$

当用户选择不考虑拉剪共同作用的普通螺栓 (即 Bearing) 时, IDEA 无需校核和输出拉剪承载比  $U_{tts}$ 。

## 2 高强度螺栓的承载力

如果用户选择摩擦型 (Friction) 剪力传力方式, IDEA 自动切换为高强度螺栓的承载力校核。高强度螺栓的性能等级为 8.8 或 10.9, 其预拉力设计值的计算公式如下所示:

$$F_{p,C} = 0.7f_{ub}A_s \quad (\text{EC 1993-1-8 式 3.7})$$

上述预拉力系数 0.7 可在 IDEA 的规范设置 (Code setup) 中修改, 即: Pretension force factor  $k$  [-]。

高强度螺栓的抗拉和抗冲切承载力设计值及抗拉承载比与前述普通螺栓的计算方法完全相同, 此处不再赘述。

### 2.1 抗剪承载力设计值

在考虑拉剪共同作用的前提下, 高强度螺栓抗剪承载力设计值的计算公式如下所示:

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu (F_{p,C} - 0.8F_{t,Ed})}{\gamma_{M3}} \quad (\text{EC 1993-1-8 式 3.8})$$

$k_s$  为孔型系数, 详见 EC 1993-1-8 表 3.6。例如, 标准孔取 1.0, 内力方向平行于槽孔长向时取 0.63。

$n$  为传力摩擦面的数量。  $\mu$  为摩擦面的抗滑移系数, 详见 EC 1993-1-8 表 3.7。该系数可在 IDEA 的规范设置 (Code setup) 中修改默认值 (0.3), 即: Friction coefficient in slip-resistance [-]。

$\gamma_{M3}$  为螺栓承载力的分项安全系数, 详见 EC 1993-1-8 表 2.1。用户可根据需要在 IDEA 的规范设置 (Code setup) 中修改默认值 (1.25), 推荐取值 1.25 (承载力极限状态) 或 1.1 (正常使用极限状态)。

### 2.2 抗剪承载比

高强度螺栓抗剪承载比的计算无需考虑承压承载力, 计算公式如下所示:

$$U_{ts} = V / F_{s,Rd}$$

## 3 小结

本文详细介绍了 IDEA 中基于欧标的螺栓承载力校核, 具体包括: 普通螺栓的抗拉、抗剪、抗冲切以及承压承载力计算以及摩擦型高强螺栓的抗拉、抗剪承载力计算。

希望以上内容可以帮助众多的 IDEA 用户或爱好者更加深入地理解和应用此软件, 以期解决实际工程中遇到的有关欧标的钢节点设计与校核问题。