

梁纵筋端支座锚固长度的重要性

王志华

一、引言

在建筑工程中，钢筋与混凝土的结合依赖于两者之间的粘结力。其中，钢筋锚固长度是一个关键因素，它不仅保证了钢筋与混凝土之间的粘结，而且确保了受力过程中钢筋能够稳定地传递力量到混凝土中，这对整个结构的承载力至关重要。

锚固长度通常指受力钢筋伸入支座或基础中的总长度，包括直线部分和弯折部分。其核心目的在于确保钢筋在受力时不会从混凝土中拔出，其中直线部分，即通常所说的平直段，指的是钢筋端部弯钩或机械锚固之前的直线部分，它对控制钢筋的滑移、防止裂缝和变形扩展尤为关键。

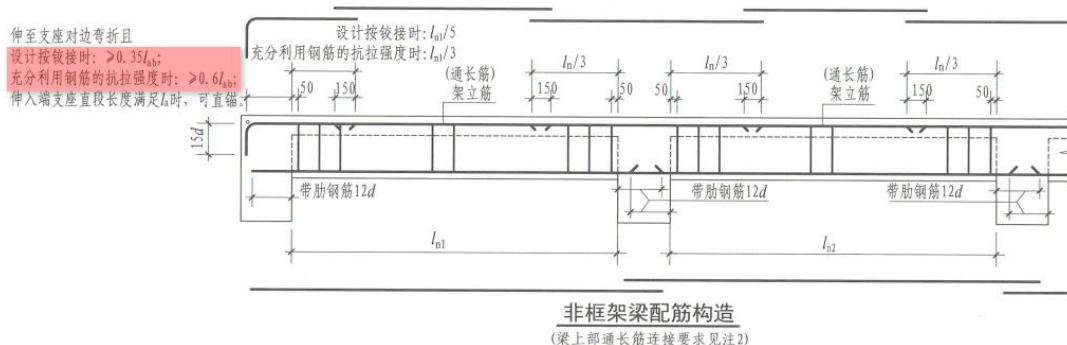
本文将为大家总结梁纵筋端支座的锚固长度要求，并探讨软件实现的策略。

二、梁纵向受力钢筋的平直段长度要求

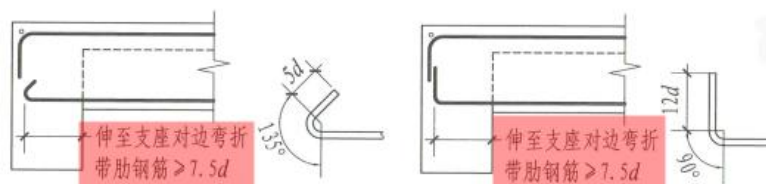
根据 XXG101 系列图集，当纵向受力钢筋端支座直锚长度不足，需采用弯钩锚固或机械锚固时，常见的平直段长度规定有 $0.6l_{ab}$ 、 $0.4l_{ab}$ 、 $0.4l_{abE}$ 和 $0.35l_{ab}$ ，这些长度取决于支座条件和钢筋受力状态（ l_{ab} 表示基本锚固长度， l_{abE} 为抗震设计时的基本锚固长度），现列举如下：

1. 非框架梁配筋构造（图集 22G101-1 第 2-40 页）

- 1) 梁顶纵筋伸至支座对边弯折，需要“充分利用钢筋的抗拉强度时”，平直段长度应 $\geq 0.6l_{ab}$ ；“设计按铰接时”，平直段长度应 $\geq 0.35l_{ab}$ ；弯折段长度为 $15d$ ；

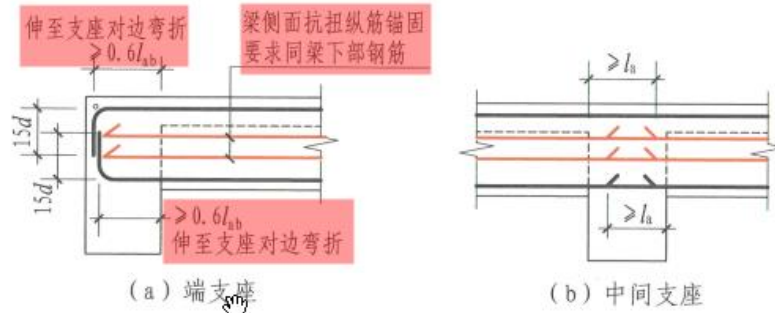


- 2) 梁底纵筋伸至支座对边弯折，带肋钢筋平直段长度应 $\geq 7.5d$ ；



端支座非框架梁下部纵筋弯锚构造
(用于下部纵筋伸入边支座长度不满足直锚 $12d$ 要求时)

- 3) 受扭梁梁顶、梁底及梁侧面抗扭纵筋伸至支座对边弯折，平直段长度应 $\geq 0.6l_{ab}$ ，弯折段长度为 $15d$ ；



受扭非框架梁LN纵筋构造

(纵筋伸入端支座直段长度满足 l_n 时可直锚)

4) 当端支座为中间层剪力墙时，以上 $0.35l_{ab}$ 、 $0.6l_{ab}$ 调整为 $0.4l_{ab}$ 。

注: 1. 跨度值 l_n 为左跨 l_{n1} 和右跨 l_{n2} 之较大值, 其中 $i=1, 2, 3...$

2. 当梁上部有通长钢筋时, 连接位置宜位于跨中 $l_n/3$ 范围内; 梁下部钢筋连接位置宜位于支座 $l_n/4$ 范围内; 且在同一连接区段内钢筋接头面积百分率不宜大于50%。

3. 钢筋连接要求见本图集第2-4页。

4. 当梁纵筋(不包括侧面G打头的构造筋及架立筋)采用绑扎搭接接长时, 搭接区内箍筋直径及间距要求见本图集第2-4页。

5. 当梁纵筋兼做温度应力筋时, 梁下部钢筋锚入支座长度由设计确定。

6. 梁侧面构造钢筋要求见本图集第2-41页。

7. 图中“设计按铰接时”用于代号为L的非框架梁, “充分利用钢筋的抗拉强度时”用于代号为Lg的非框架梁或原位标注“g”的梁端。

8. 弧形非框架梁的箍筋间距沿梁凸面线度量。

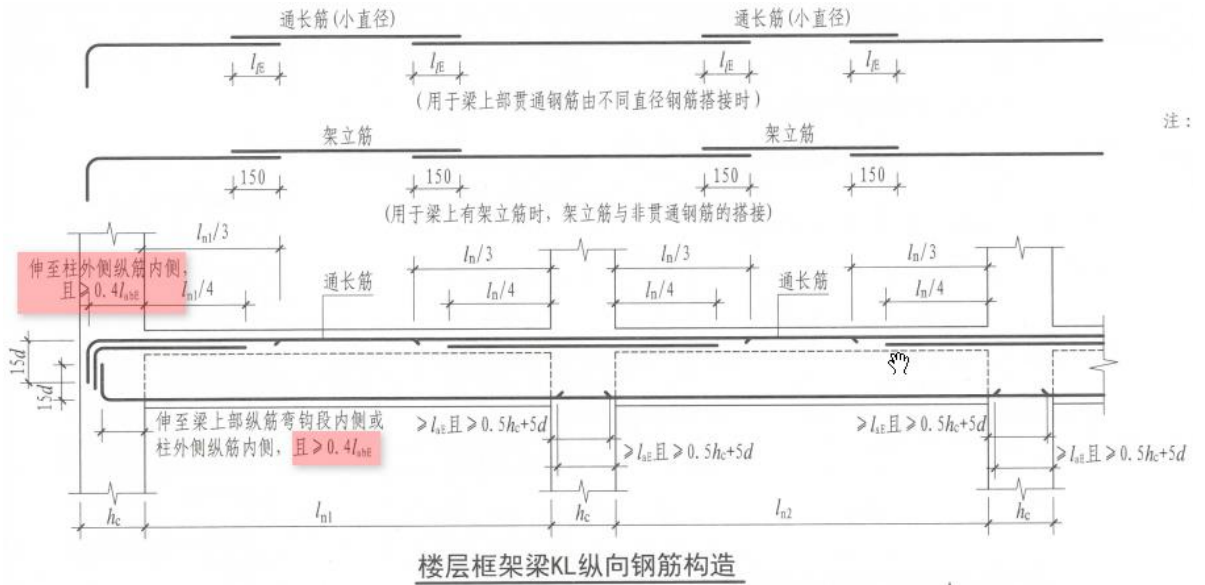
9. 当端支座为中间层剪力墙时, 图中 $0.35l_{ab}$ 、 $0.6l_{ab}$ 调整为 $0.4l_{ab}$ 。

另外, “充分利用钢筋的抗拉强度时”和“设计按铰接时”在往期技术周刊已有介绍, 这里不再赘述。

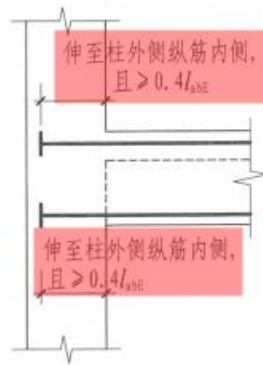
https://mp.weixin.qq.com/s?_biz=MzA3MjExNzg4MA==&mid=2652638294&idx=3&sn=4bf8291972518972719408a37167113c&chksm=84cb9741b3bc1e57e19083c93ae95c667dbb097c9f0eeeb352a287050d3ada45b965057fff97&scene=178&cur_album_id=1984406870232498183#rd

2. 楼层框架梁配筋构造 (图集 22G101-1 第 2-33 页)

- 1) 梁顶纵筋伸至柱外侧纵筋内侧, 平直段长度应 $\geq 0.4l_{abE}$, 弯折段长度为 $15d$;
- 2) 梁底纵筋伸至梁上部纵筋弯钩段内侧或柱外侧纵筋内侧, 平直段长度应 $\geq 0.4l_{abE}$, 弯折段长度为 $15d$;



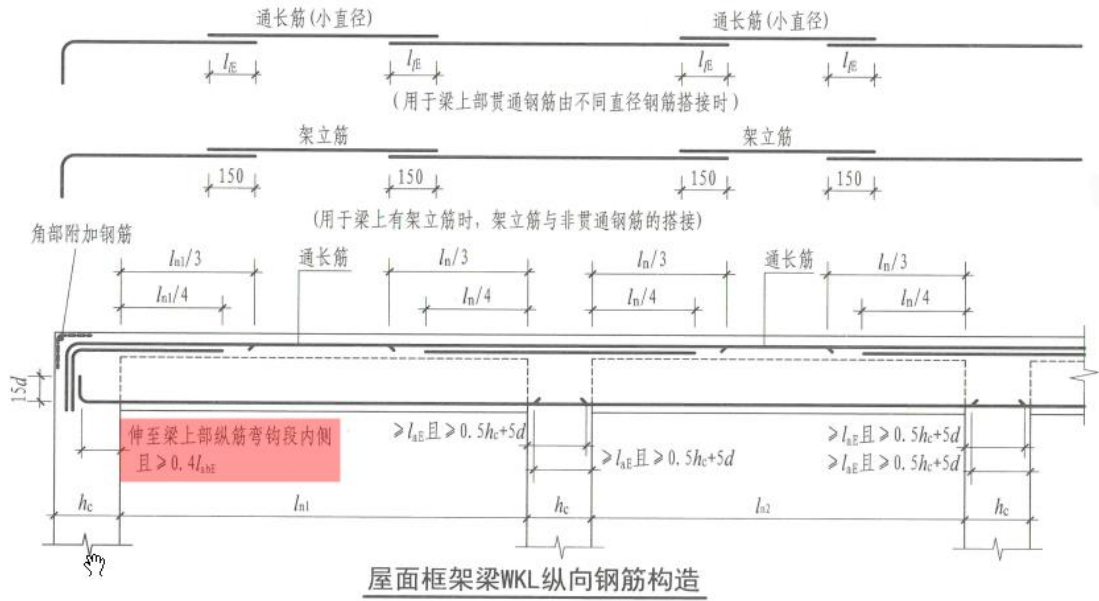
- 3) 端支座加锚头（锚板）时，梁顶、梁底纵筋伸至住外侧纵筋内侧，平直段长度应 $\geq 0.4l_{aE}$ 。



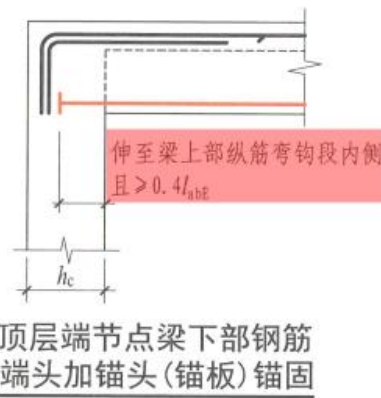
端支座加锚头(锚板)锚固

3. 屋面框架梁配筋构造（图集 22G101-1 第 2-34 页）

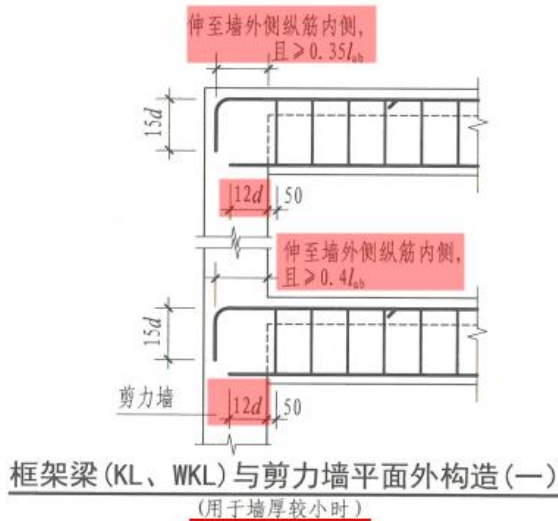
- 1) 梁底纵筋伸至梁上部纵筋弯钩段内侧，平直段长度应 $\geq 0.4l_{aE}$ ，弯折段长度为 $15d$ ；



- 2) 端支座加锚头（锚板）时，梁底纵筋梁上部纵筋弯钩段内侧，平直段长度应 $\geq 0.4l_{abE}$ 。



4. 当端支座为垂直于梁的剪力墙且墙厚较小时，楼层框架梁和屋面框架梁可选用图集 22G101-1 第 2-38 页“框架梁与剪力墙平面外连接构造(一)”。



三、 软件中的实现

软件在自动选筋过程中，遵循 22G101-1 图集的要求，对梁纵筋在端支座处的锚固长度进行考量，可考虑如下要求：

1. 框架梁顶筋和底筋平直段长度： $\geq 0.4l_{abE}$ ；
2. 非框架梁，设计按铰接时上部纵筋平直段长度： $\geq 0.35l_{ab}$ ；
3. 非框架梁，带肋钢筋下部纵筋平直段长度： $\geq 7.5d$ ；
4. 非框架梁，受扭纵筋或充分利用钢筋的抗拉强度时： $\geq 0.6l_{ab}$ ；
5. 非框架梁，当端支座为中间层剪力墙时，上部纵筋平直段长度 $\geq 0.4l_{ab}$ ；

软件在自动生成满足锚固长度要求的钢筋直径有以下技术条件：

1. 框架梁的端支座可以为柱、墙、梁，当为墙、梁时，边界条件为铰接或固接时均可考虑锚固长度要求，均按 $0.4l_{abE}$ 条件判断；
2. 非框架梁的端支座可以为墙、梁，当为铰接时，上筋判断条件为 $0.35l_{ab}$ ，下筋为 $7.5d$ ；
当为固接时，上筋判断条件为 $0.6l_{ab}$ ，下筋为 $7.5d$ ；
当为固接且受扭时，上筋、下筋、腰筋判断条件为 $0.6l_{ab}$ ；
当端支座为中间层剪力墙时，上筋判断条件为 $0.4l_{ab}$ ；
3. 计算锚固长度时使用的混凝土强度等级采用支座的混凝土强度等级， l_{ab} 和 l_{abE} 按《混规》相关公式计算；

l_{ab} 计算按照《混规》公式 8.3.3-1：

$$l_{ab} = \alpha \frac{f_y}{f_t} d \quad (8.3.1-1)$$

l_{abE} 计算按照《混规》公式 11.6.7：

$$l_{abE} = \zeta_{aE} l_{ab} \quad (11.6.7)$$

ζ_{aE} 计算按照《混规》式 11.1.7 条取值：

$$l_{aE} = \zeta_{aE} l_a \quad (11.1.7-1)$$

式中： ζ_{aE} ——纵向受拉钢筋抗震锚固长度修正系数，对一、二级抗震等级取1.15，对三级抗震等级取1.05，对四级抗震等级取1.00；

常规情况下，粗略计算时，对混凝土等级取 C30，钢筋取 HRB400 时， $l_{ab} \approx 35d$ ；一级、二级抗震等级 $l_{abE} \approx 40d$ ；三级抗震等级 $l_{abE} \approx 37d$ 。

对混凝土等级取 C35，钢筋取 HRB400 时， $l_{ab} \approx 32d$ ；一级、二级抗震等级 $l_{abE} \approx 37d$ ；三级抗震等级 $l_{abE} \approx 34d$ 。

4. 支座可用的水平段锚固长度计算方法为【支座宽度-20（构件保护层）-8（箍筋）-20（纵筋）】；柱、梁、墙支座目前均采用这种算法；
5. 选筋时，当纵筋级配库的最小直径仍不满足锚固要求时，程序自动选筋的直径会超出选筋库范围；

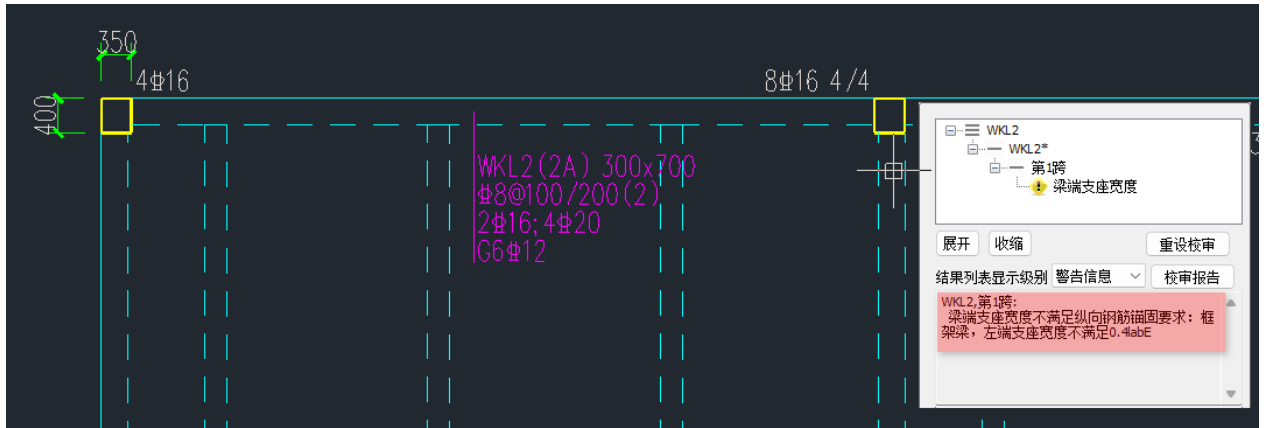
四、 工程实例分析

以下结合实际工程案例，为大家详细解析框架梁和非框架梁不同条件下满足锚固的要求。

案例 1

问：框架柱是 350x400，抗震等级 2 级，梁纵筋 16， $0.4l_{abE} = 0.4 * 40 * 16 = 256$ ，为什么锚固

长度不满足？



工程分析：

首先根据图集规定框架梁纵向受力钢筋顶筋和底筋都需要满足 $0.4l_{aE}$ 。那么，粗略计算：

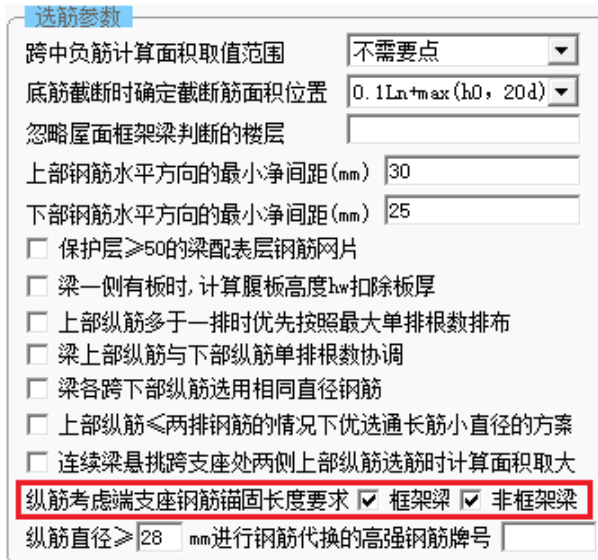
WKL2 顶筋要满足 $0.4l_{aE}$ 的平直段长度 $= 0.4 \times 40 \times 16 = 256\text{mm}$

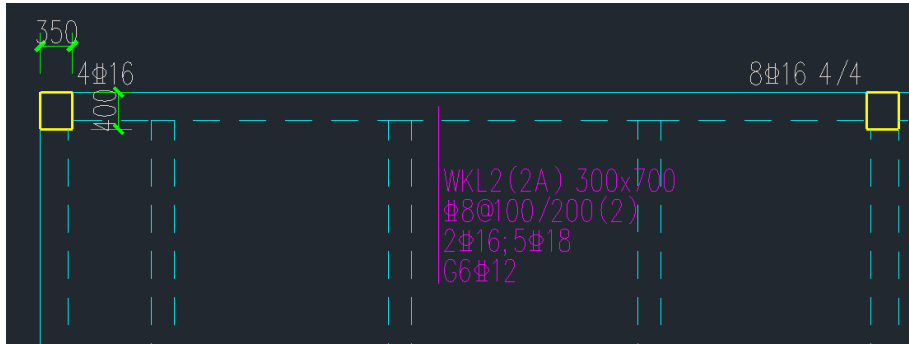
WKL2 底筋要满足 $0.4l_{aE}$ 的平直段长度 $= 0.4 \times 40 \times 20 = 320\text{mm}$

按程序规则，支座可用水平段锚固长度计算方法为【支座宽度-20（构件保护层）-8（箍筋）-20（纵筋）】，对于 WKL2，支座梁保护层厚度 20mm，水平段锚固长度 $= 350 - 20 - 8 - 20 = 302\text{mm}$ 。

经过对比发现底筋的需要平直段锚固长度大于程序算出来的可用水平段锚固长度，即 $320 > 302$ ，从而程序判断底筋 20 的直径不满足 $0.4l_{aE}$ 。

另外用户生成施工图的时候没有勾选框架梁【纵筋考虑端支座钢筋锚固长度要求】，当勾选后，程序会自动生成满足锚固长度要求的钢筋直径 18。 $0.4 \times 40 \times 18 = 288 < 302$ 。

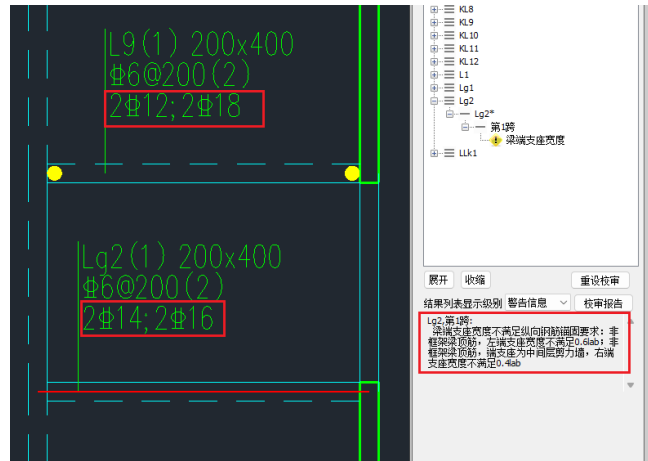




案例 2

问：本工程是一个住宅剪力墙结构，抗震等级二级，地上一层梁混凝土等级 C35，在生成地上一层梁施工图发现校审出很多钢筋锚固不满足要求。

- 1) 纵筋截面库只有 14 以上的钢筋，L9 却生成 12 直径的纵筋；
- 2) 出图参数已经勾选了考虑锚固长度，Lg2 生成的纵筋为什么还是校审不满足锚固要求？



工程分析：

L9 生成的上部钢筋为 12，是因为程序在满足锚固要求的同时选取最接近及最经济的配筋直径。具体分析如下：

由于 L9 在前处理特殊梁对梁的两端进行点铰，左端支座是按 $0.35l_{ab}$ 去控制锚固长度，当端支座为中间层剪力墙时，右端上部纵筋平直段长度要按 $0.4l_{ab}$ 进行控制。

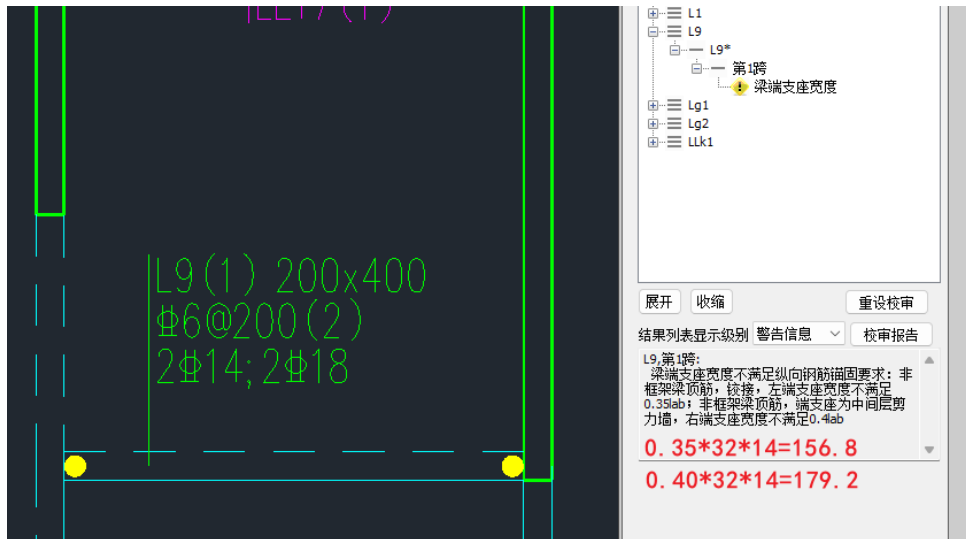
程序对 L9 支座水平段锚固长度计算方法为 $200 - 20(\text{梁、墙保护层}) - 8(\text{箍筋}) - 20(\text{纵筋}) = 152$ 。

估算左端支座满足平直段的纵筋直径 $= 152 / 0.35 / 32 = 13.6$

右端支座满足平直段的纵筋直径 $= 152 / 0.40 / 32 = 12.0$

最终为了满足两端的锚固长度，L9 的上筋直径为 12。

为了验证程序是否判断正确，把 L9 的上筋直径改为 14，用施工图校审，发现 L9 的左端和右端支座宽度均不满足纵向钢筋锚固要求 ($156.8 > 152$, $179.2 > 152$)。如下图所示：



至于 Lg2 为什么没有生成出满足锚固的直径，用同样的方法分析如下：

由于 Lg2 是充分利用钢筋的抗拉强度，即前处理特殊梁没有点铰，非框架梁左端支座按 0.6lab 控制锚固长度，当端支座为中间层剪力墙时，右端上部纵筋平直段长度要按 0.4lab 进行控制。

程序对 Lg2 支座水平段锚固长度计算方法为 $200-20(\text{梁、墙保护层})-8(\text{箍筋})-16(\text{纵筋})=152$ 。

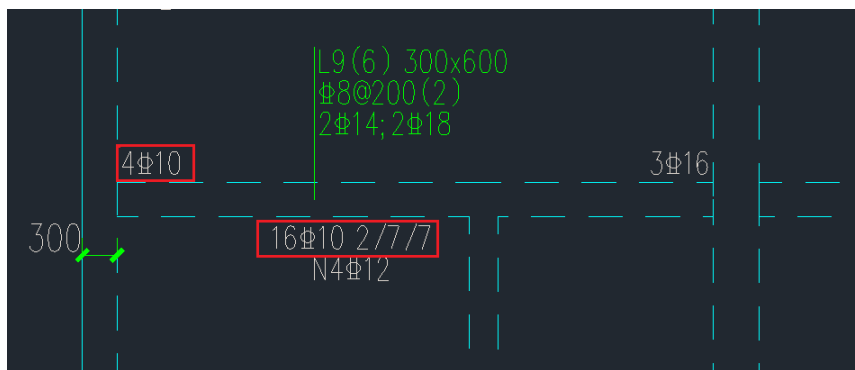
估算左端支座满足平直段的纵筋直径 $=152/0.60/32=8.0$

右端支座满足平直段的纵筋直径 $=152/0.40/32=12.0$

最终为了满足两端的锚固长度，L9 的上筋直径应选直径 8，可是直径 8 不满足《混规》9.2.1.2 条纵筋最小直径要求，因此程序按不控制锚固长度选筋，只在校审时给出提示。对于这种情况，建议可以像 L9 进行特殊梁点铰处理，以便能容易满足支座锚固长度要求。

案例 3

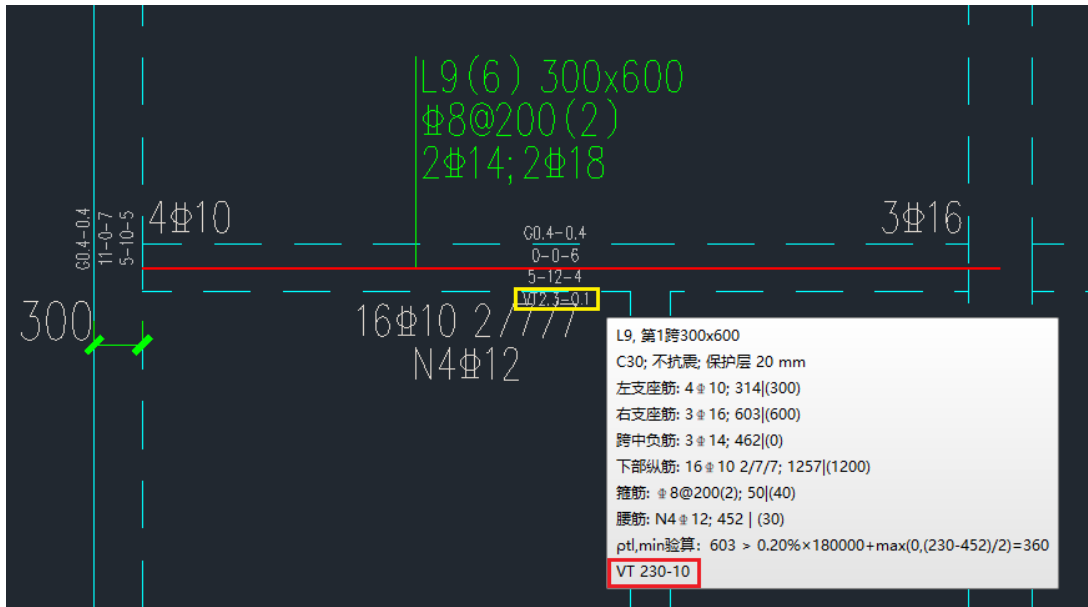
问：麻烦问下次梁已经点铰处理，钢筋库已经取消了 14 以下的钢筋直径，上筋和下筋生成的全是 10 的钢筋？



工程分析：

原因仍然是勾选了“纵筋考虑端支座钢筋锚固长度要求”。勾选该参数，程序在自动选筋时会按照 22G101-1 图集的要求，梁纵筋在端支座处考虑锚固长度要求，并在满足锚固要求的同时选取最接近及最经济的配筋直径。选筋时，程序优先从纵筋级配库中选取满足锚固要求的直径，如果级配库中添加的纵筋最小直径仍不满足选筋要求，则程序也会突破级配库进行选筋。

对于 L9，查看计算面积或把鼠标放在梁上显示 tip 信息，可以看到梁受扭，如下图所示：

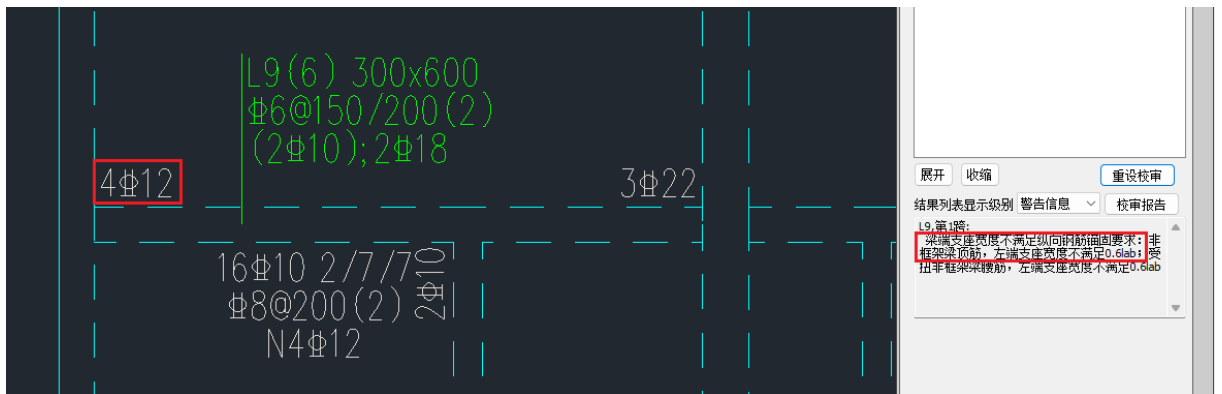


受扭非框架梁梁顶、底纵筋和侧面抗扭纵筋平直段锚固长度均需 $\geq 0.6l_{ab}$ 。

而实际左支座梁宽为 300，支座可用的水平段锚固长度为 $300 - 20$ （梁保护层） $- 8$ （箍筋） $- 20$ （纵筋） $= 252$ ，反算出的最大纵筋直径为 $252 / 0.6 / 35 = 12.0$ 。

所以级配库的最小直径 14 不满足要求，程序将超出级配库选筋，依据《混规》9.2.1-2 要求：梁高不小于 300 时，非抗震梁的纵筋直径不应小于 10，最终选择纵筋直径为 10。

可以修改顶部支座筋直径为 12，此时所需支座水平段锚固长度 $0.6l_{abE}$ 按精确计算为 $0.6 * 0.14 * 360 * 12 / 1.43 = 253.8$ ，大于程序计算支座水平段锚固长度 252，点击施工图工程校审进行验证，校审提示端支座宽度不满足纵筋钢筋锚固长度要求，如下图所示：



需要注意的是：当参数设置了最小腰筋直径为 12，并且抗扭纵筋分配方式需要侧面腰筋承担抗扭时，那么程序至少会配 2 根 12 的腰筋用来当做抗扭纵筋，这些抗扭纵筋也是会进行锚固长度校审的，不满足要求也给出提示。此时，建议将最小腰筋直径修改为较小值，以便程序能选出满足锚固要求的钢筋。

腰筋设置	
最小腰筋直径	12
拉筋直径	按平法图集计算
抗扭纵筋分配方式	腰筋按构造配
腰拉筋弯钩形式	缺省
腰筋自动选筋时的间距容差(%)	5
梁的腹板高度 h_w 取值方法	$h_w=h_0-h_f$
构造腰筋钢筋等级	缺省
侧面纵向构造钢筋按受扭钢筋配置	
框架梁	否
非框架梁	否
墙连梁	否
悬挑梁	否
当 $h_w \geq 450$ mm时, 两侧增设腰筋, 间距 $s \leq 200$ mm	
选筋方法: <input checked="" type="radio"/> 程序选筋 <input type="radio"/> 自定义选筋 自定义腰筋	

通过以上分析和案例，我们可以看到，端支座锚固长度在设计和施工中的重要性。在实际工程中，我们需要根据具体情况选择合适的钢筋直径，以满足锚固长度要求，确保结构的安全性。同时，软件的自动选筋功能为我们提供了便利，但我们也需要理解其背后的原理和规定，以便更好地应用。