

## 关于混凝土结构梁钢筋锚固问题的探讨

朱从伟

科盛环保科技股份有限公司, 江苏 南京 210022

**[摘要]**在做结构设计时, 需要明确各个构件计算时假定的边界条件, 通过合理的边界条件的假设, 尽可能的使计算假定接近构件的真实的受力状态, 进而通过计算结果和构造要求完成配筋设计, 做到设计的安全可靠和经济合理。文章针对结构设计中梁端的纵筋锚固长度问题为切入点, 结合相关规范要求及常规处理方法, 探讨解决锚固长度的思路, 以帮助设计人员结合项目实际情况合理解决这类问题。一般情况下, 框架梁与竖向构件的连接有两种形式: 第一种情况, 框架梁与剪力墙平面内连接, 或是框架梁与剪力墙的夹角较小; 通常不存在框架梁纵筋锚固长度不足的情况, 直接按照相关规范和图集的相关锚固要求实施即可, 不作为文中讨论的重点。第二种情况, 框架梁与厚度较小的剪力墙平面外连接或柱截面较小的框架柱连接。一般可分为两种情况分别处理: 1. 对于计算配筋率不大的情况下, 一般可以按照铰接方式情况处理, 放松梁端对上部纵筋锚入竖向结构构件内的要求, 同时加大梁底部钢筋的配筋量, 保证梁的抗弯承载力满足设计要求。2. 若计算配筋率较大或需要按固结进行设计, 就容易出现梁端上部纵筋锚固长度不足的问题, 达不到计算假设的条件。文中针对第二种情况, 结合相关规范及图集的规定, 梳理出几种常见的处理办法。

**[关键词]**梁; 锚固长度; 剪力墙; 结构设计

DOI: 10.33142/ec.v4i12.4829

中图分类号: TU375.1

文献标识码: A

## Discussion on Reinforcement Anchorage of Concrete Structure Beam

ZHU Congwei

Kesheng Environmental Protection Technology Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210022, China

**Abstract:** In structural design, it is necessary to clarify the boundary conditions assumed in the calculation of each member, make the calculation assumption close to the real stress state of the member as much as possible through the assumption of reasonable boundary conditions, and then complete the reinforcement design through the calculation results and structural requirements, so as to achieve the safety, reliability, economy and rationality of the design. Aiming at the anchorage length of longitudinal reinforcement at the beam end in structural design, combined with relevant code requirements and conventional treatment methods, this paper discusses the idea of solving the anchorage length, so as to help designers reasonably solve this kind of problem in combination with the actual situation of the project. Generally speaking, there are two forms of connection between frame beam and vertical members: in the first case, the frame beam is connected with shear wall in plane, or the included angle between frame beam and shear wall is small; Generally, there is no shortage of anchorage length of longitudinal reinforcement of frame beam, which can be implemented directly according to the relevant anchorage requirements of relevant specifications and atlas, which is not the focus of discussion in this paper. In the second case, the frame beam is connected with the out of plane connection of the shear wall with small thickness or the frame column with small column section. Generally speaking, it can be treated separately in two cases: 1 When the calculated reinforcement ratio is small, it can be treated according to the hinge mode, relax the requirements of the beam end for the upper longitudinal reinforcement anchored into the vertical structural members, and increase the reinforcement amount at the bottom of the beam to ensure that the flexural bearing capacity of the beam meets the design requirements. 2 If the calculated reinforcement ratio is large or it needs to be designed according to consolidation, it is easy to have the problem of insufficient anchorage length of longitudinal reinforcement at the upper part of beam end, which can not meet the conditions of calculation assumptions. In view of the second situation, combined with the provisions of relevant specifications and atlas, this paper combs out several common treatment methods.

**Keywords:** beam; anchorage length; shear wall; structural design

### 引言

在结构设计过程中, 梁与构件的连接边界条件一般分为刚接或铰接方式。刚接方式要求梁端上部钢筋抗拉强度得到充分发挥, 能够达到完全锚固的作用, 实现梁端能够承受固结假设计算的弯矩承载力。对于铰接方式, 梁端上部纵向受力钢筋应力接近于零, 但由于支座处剪力较大, 易产生弯剪斜裂缝, 使得跨中梁底纵向受力钢筋应力偏大, 为了避免在钢筋受力状态下滑移, 甚至拔出。虽然铰接方式对梁端不做弯矩承载力的设计要求, 但仍需满足规范构造要求。

对于梁与水平构件铰接的方式，即 16G101-1 中表达的  $\geq 0.35l_{ab}$ （水平段）+15d（弯折段）。一般情况下，构件的截面基本上都能满足这种锚固水平段长度的要求。而对于梁与水平构件刚接的方式，往往存在连接构件截面宽度较小的原因，无法满足水平段锚固长度的要求。对于梁端与梁连接的刚接锚固长度，即图集中所谓的“充分利用钢筋的抗拉强度”，需要满足条件  $\geq 0.6l_{ab}$ （水平段）+15d（弯折段）。如果不能满足，一般情况下会通过减小梁纵筋的钢筋直径方式减小水平段锚固长度，或增加构件的截面尺寸方式解决。否则，设计的边界条件应考虑铰接，以避免因为梁纵筋水平段锚固不足导致与计算假定有较大差异，而给工程造成安全隐患。

对于梁与竖向结构构件（柱或墙）连接的情况，一般均应按刚接考虑其边界条件，规范要求锚固长度  $\geq 0.4l_{ab}$ （水平段）+15d（弯折段）。而在结构设计中，常常由于竖向构件（墙或柱）截面较小的原因，而使得梁纵筋水平锚固长度满足不了规范  $\geq 0.4l_{aE}$  的问题。当竖向构件为剪力墙，梁构件又与剪力墙的交角较大时，特别是垂直相交连接时，这种情况就愈加突出。如果在设计中忽视问题的存在或是采取的措施不得当，会给工程埋下安全隐患。下面针对这种情况下的刚接锚固分析如下：

### 1 锚固长度相关的规范要求

基本锚固长度是保证受力钢筋即使进入屈服状态，也不会发生粘结锚固破坏的最小锚固长度。《混凝土结构设计规范》8.3.1 条给出了在静力荷载作用下的充分利用钢筋抗拉强度时的基本锚固长度  $L_{ab}$  及受拉钢筋的锚固长度  $L_a$  计算公式。

由于结构在地震作用下，梁柱节点内的锚固钢筋可能存在拉、压的反复作用的复杂受力状态下，导致节点内钢筋锚固性能降低，钢筋的滑移量也可能随之增加，而直接影响节点钢筋锚固效果，降低结构安全性。为确保抗震设计中的节点钢筋锚固力，对于抗震设计结构的节点钢筋锚固长度，则在上述静力作用下的受拉钢筋的锚固长度基础上，结合结构构件的抗震等级，乘以不小于 1.0 的抗震调整系数  $\zeta_{aE}$  即可，具体内容详见《混凝土结构设计规范》11.1.7 条。

### 2 弯折锚固原理分析

根据试验表明，锚固端的锚固能力由水平段的粘结能力和弯弧与垂直段的弯折锚固作用组成。在承受静力荷载为主的情况下，水平段的粘结能力起到主导作用，水平段越长，其粘结锚固能力越强，发挥的锚固作用就越持久。当水平段长度接近于受拉钢筋的锚固长度  $l_a$  时，在整个受力过程中，弯折垂直段的锚固作用很小，从梁纵筋的锚固强度和刚度两个方面看，当水平段投影长度  $\geq 0.4l_a$  或  $0.4l_{aE}$  时，垂直段长度为 15d 时，已能可靠保证梁端的锚固，可不必满足总锚长不小于受拉锚固长度的要求。在很大程度上减小了因框架梁钢筋锚固需要而加大竖向构件截面的情况。

### 3 产生水平锚固长度不够的部位及各种影响

- (1) 框架梁与剪力墙面外相交，之间有较大的夹角，且剪力墙厚度较小；
- (2) 框架梁与地下室侧壁垂直相交，或是有较大的夹角，且侧壁墙厚度较小；
- (3) 框架梁与柱的长边垂直（柱宽小于 500 时，易产生）相交，而柱的短边又较短；
- (4) 次梁与主梁共同协同工作时的主次梁端部节点，梁端按照充分利用钢筋抗拉强度设计，例如井字梁或交叉梁系的端头）；
- (5) 低层及多层设计时，因为较小的框架柱截面较小，框架梁与柱端部节点；

### 4 各种不同直径钢筋锚固所需的最小水平段长度

以常用的 HRB400 钢筋各规格直径为例，计算的水平段锚固长度  $0.4l_{aE}$  如下表：

表 1 HRB400 钢筋计算  $0.4l_{aE}$

类别	三级抗震时, $0.4l_{aE}$ (mm)			一、二级抗震时, $0.4l_{aE}$ (mm)			
	C30	C35	$\geq C40$	C30	C35	$\geq C40$	
钢筋直径	16	237	218	192	256	237	212
	18	267	245	216	288	267	238
	20	300	272	240	320	296	264
	22	326	300	264	352	326	291
	25	370	340	300	400	370	330
	28	460	415	381	504	448	415
	32	525	474	436	576	512	474

显然,纵筋的水平段最小锚固长度一般都会超出 200mm。如某混凝土强度等级 C35 的框架梁钢筋直径选用  $\Phi 20$ , 抗震等级三级,其最小水平长度  $0.4l_{aE}$  为 272mm,再考虑钢筋的保护层厚度要求,边柱或剪力墙截面须达到 300mm 以上才能满足规范要求的水平段锚固长度。一般情况下,因为规范对框架柱截面最小值的限制,柱相对是容易满足的。但是一般的住宅剪力墙的厚度 200~250mm 为主,水平段的锚固长度满足不了固结的边界设计假定。

### 5 构件连接节点的边界条件判定

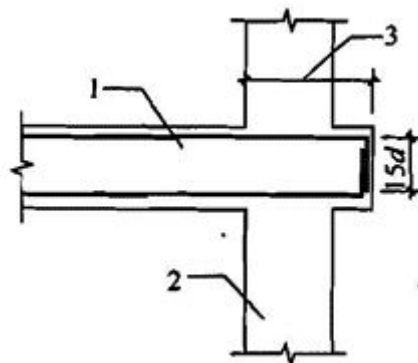
(1) 根据规范要求,固接假定必须满足条件是边支座上部纵筋锚固直段长度  $\geq 0.4l_{aE}$ ,且钢筋端部弯折  $15d$ ,否则不能按固端考虑。

(2) 若节点设计达不到固接锚固的要求,原则上不应按固结考虑,而应按简支考虑。实际受力状态下结点仍会受到部分弯矩作用,而不是理论上的纯铰接。所以,《混凝土结构设计规范》9.2.6 条规定:“当梁端实际受到部分约束但按简支计算时,应在支座区上部设置纵向构造钢筋,其截面面积不小于梁跨中下部纵向受力钢筋计算所需截面面积的四分之一,且不应小于两根,该纵向构造钢筋自支座边缘向跨内伸出的长度不应小于  $0.2l_0$  ( $l_0$  为计算跨度)(支座锚固长度为  $1a$ )。”现浇梁边支座按简支计算时,实际会受到部分约束而非真正简支支座。因此,在现浇砼结构中,框架结构、框筒结构及剪力墙结构,次梁或主梁端跨边支座支承于主梁或剪力墙上时,若无法满足  $0.4l_{aE}$ ,则应按简支计算,同时按《混凝土结构设计规范》9.2.6 条构造配筋。

### 6 纵筋水平最小锚固长度不足的处理措施

措施一:按简支边界条件计算处理。此方案是退而求其次,把刚节点变为铰接点,使梁由连续梁的受力退化为简支梁,跨中底筋配筋量显著增加。缺点是不利于提高结构整体抗侧刚度,削弱了结构的整体刚度。缺点是显而易见的,这种做法在实际工程设计中尽量不采用。

措施二:在梁与竖向构件交接处,超过竖向构件向外突出一个“梁榫”,该方案由新西兰著名抗震的权威 Park 与 Pauly 提出。对应规范的要求在《高层建筑混凝土结构设计规程》7.1.6 中第 5 条表述为:“当锚固段的水平投影长度不满足要求时,可将楼面梁伸出墙面形成梁头,梁的纵筋伸入梁头后弯折锚固。钢筋锚固段的水平投影长度,非抗震设计时不宜小于  $0.4l_{ab}$ ,抗震设计时不宜小于  $0.4l_{aE}$ 。”这样既可增加梁纵筋伸入支座的锚固长度,实现刚接假定,更重要的是,当梁柱节点在强震的反复荷载作用下产生裂缝时,不至影响纵筋的锚固而导致纵筋的滑移等。



1-楼面梁; 2-剪力墙; 3-楼面  
 图1 楼面梁伸出墙面形成梁头

### 7 梁钢筋锚固水平投影长度

本方案有效地避免了为了满足锚固长度要求直接加大柱(墙)的厚度,不影响建筑的平面设计,而且对结构整体抗侧刚度有利,但采用本方案应注意对建筑使用功能的影响。

措施三:采用机械锚固的方式减少锚固长度。根据《钢筋混凝土结构设计规范》8.3.3 条,“当纵向受拉普通钢筋末端采用弯钩或机械锚固措施时,包括弯钩或锚固端头在内的锚固长度(投影长度)可取为基本锚固长度  $l_{ab}$  的 60%。”

根据其相应条文解释:原理是利用受力钢筋端部锚头(弯钩、贴焊钢筋、焊接锚板或螺栓锚头)对混凝土的局部挤压作用加大锚固承载力。锚头对混凝土的局部挤压保证了钢筋不会发生锚固拔出破坏,但锚头前必须有一定的直段锚固长度,以控制锚固钢筋的滑移,使构件不致发生较大的裂缝和变形。因此对钢筋末端弯钩和机械锚固可以乘修正

系数 0.6, 有效地减小锚固长度。

措施四: 在楼板与剪力墙连接的位置设置宽度大出剪力墙墙厚的暗梁, 暗梁底凸出板底, 暗梁配筋按框剪结构带边框剪力墙暗梁构造要求, 设置构造纵筋和全长加密箍筋。可以理解为剪力墙在靠近楼板的位置局部高度范围内加厚了。纵筋直段及弯折段锚入此暗梁内。暗梁高度可取剪力墙墙厚的两倍或与剪力墙重合的框架梁高, 暗梁配筋可按构造要求配置, 且应符合一般框架梁相应抗震等级的最小配筋要求。

措施五: 梁搭接的位置墙内增设截面大于墙厚的扶壁柱。对于地下室外墙等不影响建筑平面的情况, 一般优先采用。而受建筑平面设计限制的地上结构, 需要根据建筑平面设计判断其可行性。

措施六: 加大实际配筋量减小锚固长度。

根据《混凝土结构设计规程》8.3.2 中的第 4 条规定: “当纵向受力钢筋的实际配筋面积大于其设计计算面积时, 修正系数取设计计算面积与实际配筋面积的比值, 但对有抗震设防要求及直接承受动力荷载的结构构件, 不应考虑此项修正;”

本条提出是针对非抗震的或直接承受震动的框架梁, 可以增加梁端的实际配筋率, 通过计算面积与实际配筋面积的比值, 对直段锚固长度进行折减, 其适用性需要根据项目情况确定。

边界条件的假定涉及主体结构设计的安全性和合理性, 是非常重要的问题, 而锚固又是边界条件假定绕不开的问题。不能不关注设计中存在的锚固问题, 更不能明知有问题而忽视其存在。对于上述给出的六个解决锚固长度不足的措施, 各有各的适用条件, 要具体问题具体分析, 结合项目设计各专业的相关要求及项目实际情况, 综合确定最优解决方案, 尽可能使得计算假定与实际受力状态相符, 确保设计结构的安全性。

#### [参考文献]

- [1] 中国建筑科学研究院. 混凝土结构设计规范: GB50010-2010[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- [2] 广东省建筑设计研究院. 高层混凝土结构设计规程: JGJ3-2010[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- [3] 李国胜. 多高层钢筋砼设计优化与合理构造[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [4] 李明顺. 砼结构设计规范算例[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.
- [5] 胡允棒. 钢筋砼结构设计用表[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.

作者简介: 朱从伟 (1980.12-) 男, 南京工业大学, 土木工程, 工程师, 中级。