

钢筋混凝土结构含钢量的一般范围和合理控制方法

谭泽先

(中机国际工程设计研究院 长沙 410007)

[提要] 综合多种统计数据,编制出各类钢筋混凝土结构含钢量的一般范围表,分析影响含钢量的因素,提出可通过优化设计方案,采取合理的基础形式,采用 HRB400 级钢筋等措施来降低含钢量,可供土建有关人员参考。
[关键词] 含钢量 钢筋 造价 建筑 结构 设计

General Scope and Control Method of Steel Content of Building Structure/Tan Zexian (China Machinery International Engineering Design & Research Institute, Changsha 410007, China)

Abstract: Comprehending many kinds of statistics data, the tables of general scope including steel quantity of all kinds of building structure have been worked out. The influence factors of steel content are analyzed and the proposes of reducing the steel content are put forward for relevant civil construction designers reference only.

Keywords: steel content; reinforcing steel; cost; architecture; structure; design

1 含钢量的一般范围

实际工程含钢量的统计数据大多为 20 世纪 90 年代以前的。文[5]记载了全国数百个典型建筑工程的技术经济指标,其中就包括含钢量。21 世纪后,一些建筑专业网站,如建筑工程造价网站发布了典型建筑工程的技术经济指标。根据上述历年统计数据,汇总出各类钢筋混凝土结构实际的含钢量,见表 1~3。表中数值均不考虑地下室和桩基,若考虑桩基应增加 10% 左右。而单独计算地下室,其含钢量为 80~490kg/m² (上限为考虑人防)。表中数值只反映通常的情况,某些特殊工程,其含钢量会相差很大。还应指出,采用轻型钢结构的厂房和住宅,虽然为全钢结构,但它们的含钢量比钢筋混凝土结构多不了多少。

2 影响含钢量的因素

表 1~3 中数据说明:即使是同一结构类型的建筑,其含钢量也有多有少,差值可达一两倍。但是,对于一个具体的工程来说,含钢量应该为确定的数值。影响含钢量的因素值得探讨。

2.1 自然条件

处在地震设防烈度等级高或者风压大的地区,含钢量高,反之较低。在气候恶劣、温差变化剧烈的地区,为抵抗温度应力,增加抗拉性能优良的钢筋配置,也是工程师常用的办法。建筑场地土质差,浅层土承载力低,持力层埋深大时,需要采用桩基础或很厚的钢筋混凝土筏板,含钢量自然大。

2.2 政策法规

为了增强结构的耐久性而需多用一些钢材应属合理使用,为了增强延性和防倒塌能力,还要合理增大构造用钢量^[1]。

住宅类混凝土结构的含钢量(kg/m²) 表 1

框架			剪力墙		框-剪
多层 ≤6 层	小高层 7~11 层	高层 ≥12 层	小高层	高层	高层
25~40	35~50	50~60	25~50	55~75	40~85

混凝土结构的综合楼和商厦的含钢量(kg/m²) 表 2

结构形式	框架		剪力墙	框-剪		框(筒)-筒
	多层	高层	高层	高层	超高层	高层
综合楼	30~60	50~100	70~120	50~120	145~210	55~105 (45~95)
商厦	40~100	50~120	60~170	65~140	70~225	60~110

单层排架厂房混凝土结构的含钢量(kg/m²) 表 3

冷加工	热加工	重型厂房 吊车 < 75t	轻工食品	仓库
40~50	50~65	75~80	40~60	30~60

新修订的规范对非抗震结构中受弯、偏心受拉和轴心受拉构件中的受拉纵向钢筋最小配筋率改用特征值表达式和下限值相结合的取值方法,使其取值水准适度提高;对抗震框架梁受拉纵向钢筋最小配筋率增加特征值表达式,适度提高了其在混凝土强度等级偏高情况下的取值;适度提高了非抗震受压构件和抗震框架柱的纵向钢筋最小配筋率取值;新增了基础底板最小配筋率的取值规定。

抗震等级越高,对梁端塑性铰区在负弯矩以及正弯矩作用下的延性要求也越高。我国规范认为,梁上、下纵筋最小配筋率的取值也应随抗震等级的提高而增大。已完成的不同类型框架非线性动力反应系列分析结果表明,由于最小配筋率对柱纵向钢筋用量所起的

控制作用,使得 6、7 度区以及设计基本地震加速度为 $0.15g$ 地区的框架柱在大震下原则上不出现塑性铰,即使出现,其塑性转动也相对较小。这表明,柱纵向钢筋最小配筋率在这些情况下实际上已成为引导抗震结构形成更为有利的塑性铰机构和保证框架抗震延性性能的重要构造措施之一^[2]。

新规范基于以上理由,对建筑结构的含钢量要求,较之上世纪的老规范有较大的提高,设计试算表明,提高幅度约为 $5\% \sim 15\%$ ^[6,7]。

2.3 设计参数

建筑专业的设计对含钢量影响最大的一个方面,是建筑物的规则性,具体体现在开间、进深、层高、平面形状的凹凸、竖向立面的缩进悬挑等等。如果一个总面积不大的房子,开间、进深、层高各不相同,平面立面多有变化,其含钢量必然很大,这也是一般公共建筑(剧院、体育馆等)比同等面积的住宅办公楼含钢量大一两倍的原因。此外,对于工业厂房,影响含钢量的设计参数则是厂房的跨度、高度、柱距、吊车吨位和楼面荷载(对多层厂房而言)。

结构设计最重要的一点是结构方案和选型,要想在现有建筑方案的基础上降低含钢量,必须进行多方案比较。如美国纽约 102 层的帝国大厦采用的是框架-剪力墙体系,用钢量为 206kg/m^2 ;而芝加哥 110 层的西尔斯大厦,采用束筒体系,用钢量仅 161kg/m^2 ,比帝国大厦降低了 20%。在结构设计中,结构方案选择不合理造成的浪费往往比配筋计算的不精确造成的浪费大得多。

2.4 施工变更

在施工过程中,各方面可能会提出各种各样超出原设计图纸的要求,或者由于设计考虑不周造成与实际情况不符合等,就会出现施工变更。由于变更是在现场提出的,要求尽快实施,没有时间反复计算比较,设计人员凭经验作出答复,这些变更一般偏于保守。另一种常见的情况是因为采购不到设计所要求品种规格的钢筋,必须进行钢筋代换。钢筋代换的总原则是保证钢筋代换之后的结构在强度、抗裂、抗变形等方面的性能均不低于原设计结构,代换后的用钢量多数只增不减。据决算部门统计,施工变更造价占整个工程造价的比例达 10%,有时甚至更多,这其中就有含钢量增加的因素。

3 降低含钢量的措施

3.1 优化设计方案

采用优化的设计方案需要同建筑师通力合作,选出一个功能合理、造型美观、结构优化、用材节省的方案作为最佳设计方案。

采用什么结构体系对于工程造价关系重大,能做落地剪力墙的不做框支转换层,能使短肢剪力墙减少就尽量减少。长墙肢有利于降低竖向构件的配筋率以及减少暗柱数量,其边缘构件纵向筋配筋率往往较低。如果墙体分布均匀,墙体水平筋计算结果一般多为构造配筋。布置一定数量的长肢剪力墙有利于实现剪力墙的低配筋率。

例如对高层住宅,一般采用钢筋混凝土剪力墙结构体系。从强度方面来看,小开间结构中墙体的作用不能得到充分的发挥。过多的剪力墙(结构的侧向刚度过大)还会导致较大的地震作用。由于结构自重较大,增加了基础工程的投资。大开间剪力墙结构体系与小开间体系相比,使用功能灵活,经济指标合理,是高层住宅设计的发展方向。

随着建筑高度的不断提高,抗侧力体系在不断的改进,出现了巨型结构体系,由几个大型结构单元所组成的主结构与其它结构单元组成的次结构共同工作,从而获得更大的整体稳定性和更高的效能。巨型结构由两级结构组成,打破了传统的以单独楼层作为基本结构单元的格局,有着其它结构无法达到的很多优点。巨型结构体系中,虽然主结构的截面尺寸大,材料用量也大,但量大面广的次结构只承受有限几层竖向荷载的作用,故其截面尺寸比一般超高层建筑小得多,对材料性能要求也较低,从总体上说可节约材料和降低造价。

3.2 合理的基础形式

钢筋混凝土基础(包括混凝土桩)因其工程量大,耗用的钢筋总量是巨大的。所以采用什么基础形式,必须反复权衡,能用浅基础时就不要用桩基,采用桩基时求短不求长,灌注桩配筋又有通长和 $1/2$ 、 $1/3$ 桩长的节省办法。此外,采用加固软土地基新技术可以避免使用钢筋混凝土桩,而采用桩土复合基础则可减少桩的数量或桩长。凡此种种,每一项均可大大减少用钢量。

3.3 采用 HRB400 级钢筋(新 级钢筋)

级钢筋(HRB335)强度设计值为 $f_y = 300\text{N/mm}^2$,新 级钢筋强度设计值为 $f_y = 36\text{N/mm}^2$,新 级钢筋强度设计值与 级钢筋强度设计值之比为 $360/300 = 1.2$ 。新 级钢筋目前的市场价格比 级钢筋略高,综合价格比为 1.05。若将强度低的 级钢筋改为强度较高的 级钢筋用于建筑,则可节约钢材约 $1.2/1.05 - 1 = 14\%$,这是降低含钢量最直接的措施。同理,若将强度低的 级钢筋改为强度较高的 级钢筋用于建筑,强度比为 1.43,价格相差不大,可节约钢材约 43%。如果用 级钢筋代替 I 级钢筋,节约钢材更多,约为 63%。当然,上述节约率的计算仅对主筋而言。实际

配筋还要考虑构造要求,而构造钢筋并不因为强度高而少配,因此节约率将会比上述计算小一些。

此外,在板构件中采用冷轧带肋焊接钢筋网片代替普通钢筋,节约率可达 15 %^[3]。

3.4 采用新型楼盖和隔墙系统

楼板造价占结构总造价的 9 % ~ 13 %,其重量占整个房屋重量的 22 % 左右。在多层与高层建筑中,选择合理的楼盖体系不仅可改善整个结构的力学性能,还可降低造价。这是基于以下原因:1) 在多层与高层建筑中,各竖向抗侧力结构靠楼盖体系连接成为能共同工作的整体以抵抗水平力;2) 楼盖结构多次重复使用,其累计质量占建筑总质量的很大比例。降低楼盖质量,可大幅度减轻建筑总质量,从而减轻地震作用;同时,还可降低墙、柱及基础的造价;3) 降低楼盖体系自身高度,不仅可降低层高,节约建筑空间,还可降低围护结构、管线材料及施工机具的费用。因此,对于多层尤其是高层建筑而言,应选择整体性好、刚度大、质量轻、高度小、满足使用要求并便于施工的楼盖体系。

目前,国内外常见的钢筋混凝土楼盖体系有如下几种:1) 现浇梁板式楼盖;2) 井字楼盖;3) 无梁楼盖;4) 预应力框架扁梁密肋楼盖;5) 无粘结预应力无梁楼盖。钢筋用量最少的是无粘结预应力无梁楼盖、其次是预应力框架扁梁密肋楼盖,钢筋用量最多的是井字楼盖和现浇梁板式楼盖。广州国际大厦为 63 层的高层建筑(1989 年建成),原方案采用普通平板,板厚为 350mm,后改用无粘结预应力平板,板厚减为 220mm,在总建筑高度不变的情况下,采用无粘结预应力平板比普通平板多增加了两层的建筑面积。另外,用空心的大板结构代替传统的大板结构可以节约该部分造价的 20 % 左右。

近年出现了许多新研制的楼盖系统,例如:预应力双向叠合板楼盖,钢筋用量减少 15 %^[8];钢筋混凝土空腹夹层板楼盖,钢筋用量减少 10 % ~ 30 %^[9];PK 预应力混凝土楼盖,钢筋用量减少 10 % ~ 30 %^[10]。

研究表明,在高层住宅建筑中采用轻质石膏板内隔墙体系,主要的土建结构造价(包括楼板、外墙、内墙、梁、基础结构体系等)比传统砖石混凝土体系的土建结构造价降低 10 %,建筑工程的总造价降低 4.27 %。而 GRC(玻璃纤维增强水泥的简称)轻质墙板容重为 6.0kN/m³,仅相当于同厚度粘土砖砌体面密度的 1/3,大大减少了结构荷载,降低了整个建筑梁、柱及基础的截面积和含钢量。

3.5 设计精打细算,出图准确明白

有关资料表明,合理的设计可以降低工程总造价的 5 % ~ 10 %,甚至 20 %。对同一工程同类型建筑进

行设计,不同设计人员设计方案的钢筋含量相差竟达 20kg/m² 以上(多用钢材 38 %)^[4]。

例如,在高层建筑的设计中,许多构件是构造配筋,对大多数构件,只规定了一个极限值,如柱子轴压比、最小配筋率等;而有些限值又在很大范围内变动,如柱子加密区最小配箍率;有些规范没有规定,如剪力墙轴压比和最大配筋率等,设计时到底取多少合适,与设计人员的经验、习惯、对规范和计算程序的理解程度有关。因而同样的构件,配筋可以相差很大。在实际设计过程中出于方便施工、提高设计效率等诸多目的,会对构件进行分类归并。为了能涵盖面广,往往会用较大配筋的构件去包罗较小配筋的同断面构件,以确保结构安全度,这一过程不可避免地会增大配筋。其实应该对电算结果中输出的各层配筋划分区段,使各区段内配筋相差不大,再分段出图。

又如,工程中常将二跑楼梯一律设计成板式楼梯。实际上,当梯板长度大于 3m 或活荷载较大时,就应设计为梁式楼梯。如一个梯段跨度为 3.6m,活载为 2.5kN/m² 的楼梯,采用板式楼梯时,板厚为 130mm,混凝土用量为 1.5m³,钢筋用量为 50kg,而采用梁式楼梯时,踏步板的底板厚度为 40mm,斜梁截面 $b \times h = 150 \times 250$,总混凝土用量为 1.3m³,钢筋用量为 26kg,显然,梁式楼梯更为经济。

此外,很多工程造价的增多往往是由于施工方对图纸理解不全面或偏差所致。当图纸上出现模棱两可的表述时,施工方一般是朝着有利于自身利益的方向去理解,虽然图纸最终的解释权在设计方,但由此造成的浪费往往是既成事实。施工图纸过于简单、粗糙和施工单位技术力量薄弱造成施工中的错误和浪费屡见不鲜。设计精打细算,图纸表达明白详尽,也可降低建筑结构的含钢量。

参 考 文 献

- [1] 陈肇元. 对混凝土结构设计安全度和规范修订的几点看法[J]. 建筑科学,1999(5):23-25.
- [2] 白绍良等. 钢筋混凝土构件纵向钢筋最小配筋率的功能与取值[J]. 建筑结构,2003(8):3-8.
- [3] 孙洪军. 冷轧带肋钢筋焊接网在某工程中的应用分析[J]. 建筑科学,2004(10):79-82.
- [4] 罗月华. 试论施工图设计阶段对工程造价的控制[J]. 广东土木与建筑,2003(1):55-56.
- [5] 中国勘察设计协会技术经济委员会,建设部标准定额研究所. 民用建筑技术经济指标[M]. 北京:中国计划出版社,1996.
- [6] 盛光复,任迎春. 钢筋混凝土受弯构件新旧规范设计之比较[J]. 工业建筑,2003(8):56-58.
- [7] 李明顺,胡德忻. 我国建筑结构设计可靠度设定水平的分析与改进意见[J]. 建筑科学,1999(5):26-29.
- [8] 李谦,赵更歧,罗健雄,等. 预应力双向叠合板楼盖的工程应用及造价分析[J]. 郑州大学学报(理学版),2002(1).
- [9] 张华刚,马克俭. 现浇空心板楼盖结构的简化分析及其应用[J]. 重庆建筑,2004(2).
- [10] 吴方伯,郑伦存,曾垂军. PK 预应力混凝土叠合板楼盖体系探讨[J]. 建筑技术开发,2005(4).