DOI:10.13614/j.cnki.11-1962/tu.2000.01.006

第16卷第1期 建筑科学 Vol.16, No.1
2000年2月 BUILDING SCIENCE Feb. 2000

[文章编号] 1002-8528(2000)01-0025-06

钢筋混凝土L形截面双向偏压构件正截面配筋设计方法的研究

王 森, 魏 琏, 黄世敏, 彭伙水
(中国建筑科学研究院, 北京 100013)

[摘 要] 通过对多、高层建筑中经常采用的L形柱的正截面配筋设计方法的讨论, 指出目前L形柱配筋设计方法存在的问题。作者在规范有关正截面计算四个基本假定的基础上, 提出了新的设计方法, 并编制了相应的计算程序。新方法的计算结果与实验结果吻合较好。同时与"规程"L形截面柱配筋计算方法进行了对比, 分析表明, 新方法计算结果合理、准确, 且便于直接配筋。

[关键词] L形截面; 正截面配筋; 双轴受压; 钢筋混凝土柱
[中图分类号] TU37 [文献标识码] A

Research on Design of Reinforcement for Normal Cross Section of L-Shape for Reinforced Concrete Bi-axially Loaded Elements

WANG Sen, WEI Lian, HUANG Shi-min, PENG Huo-shui
(*China Academy of Building Research, Beijing* 100013, *China*)

[**Abstract**] Some problems in the method of calculating reinforcement for L-shape columns in multi-story and high rise buildings are discussed. Based on the four basic assumptions used in the Code, a new method of calculating reinforcement under flexural is presented. The calculation results by this method are consistent with the test results. Compared with another calculation method for L-shape section, it shows the new method of determining reinforcement for L-shape section column is reasonable and acceptable for design engineering.

[**Keywords**] L-shape section; reinforcement under flexural; bi-axially loaded; reinforced concrete column

1 前 言

目前随着工程实际的需要, 在框架结构和框剪结构中, 采用了许多L形截面柱, 这些异形框架柱的采用, 避免了房间里出现凸出的柱体, 便于灵活布置平面, 增加了使用面积, 能更好地满足使用上的要求。但至今还没有一个很好的解决它们在双向弯矩作用下的设计配筋方法。我国《混凝土结构设计规范》GBJ10-89[1]对正截面承载力计算给出了四个基本假定, 对T形截面在单向偏心荷载下的配筋给出了具体设计公式, 对具有两个互相垂直对称轴的双偏压柱给出的尼克勤公式, 也只能用于截面承载力验算。规范未能提供L形截面柱在双向偏心荷载下的设计配筋方法。工程实际中采用的将截面简化, 分别考虑单向弯矩、单向配筋后再加以组合的方法也是不够合理的[2]。广东省于1995年颁布的《钢筋混凝土异形柱设计规程》对等肢T形、等肢L形柱在双向弯矩作用下的配筋计算, 提供了一个计算方法及相关图表, 但该方法物理意义不明确, 给出的计算公式使用不方便, 计算结果有时误差可能相当

[收稿日期] 1999-3-31 [修订日期] 1999-7

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

大,适用范围又很有限[3]。因此迫切需要找到一种既合理安全,又使用方便的方法来指导工程设计人员进行设计。

本文提出的新设计方法,在GBJ10—89规范对正截面承载力计算的四个基本假定的基础上,完全满足设计外力 P、M_x、M_y 三个基本平衡条件,物理意义明确,辅以我们编制的计算程序DASC1.0,不但计算结果准确合理,使用也很方便[4]。新方法在已知截面尺寸、材料性能和设计外力 P、M_x、M_y 后,即可求得相应钢筋布置位置时的钢筋面积。

2 对现有一些设计方法的讨论

2.1 对GBJ10—89规范计算公式的讨论

GBJ10—89规范给出了具有两个互相垂直的对称轴的钢筋混凝土双向偏心受压构件的正截面受压承载力计算的尼克勤(N.V.Nikitin)公式:

$$N \leqslant \frac{1}{\frac{1}{N_{ux}}+\frac{1}{N_{uy}}-\frac{1}{N_{u0}}} \tag{1}$$

其中,N_{u0}为按全部纵向钢筋计算、考虑稳定系数 φ 的轴心受压承载力;N_{ux}、N_{uy}分别为轴向力作用于 x 轴、y 轴时,按全部纵向钢筋计算的构件偏心受压承载力;N 为两个方向都有偏心弯矩作用下截面的承载力。

尼克勤公式是假定材料处于弹性阶段,在各个纵向力 N_{u0}、N_{ux}、N_{uy}、N 作用下,截面的应力都达到材料所能承受的容许应力[σ]后,根据材料力学原理推出的,即

$$[\sigma] = N_{u0}/A_0 \tag{2}$$

$$[\sigma] = N_{ux}(1/A_0+\eta_x e_{0x}/w_{0x}) \tag{3}$$

$$[\sigma] = N_{uy}(1/A_0+\eta_y e_{0y}/w_{0y}) \tag{4}$$

$$[\sigma] = N(1/A_0+\eta_x e_{0x}/w_{0x}+\eta_y e_{0y}/w_{0y}) \tag{5}$$

合并以上四式,即得尼克勤公式(1)。式中 A_0、w_{0x}、w_{0y}分别表示考虑全部纵向钢筋的换算截面面积和 x、y 两个方向的换算截面抵抗矩;e_{0x}、η_{0x}为轴向力在 x 轴上的偏心距和偏心距增大系数;e_{0y}、η_{0y}为轴向力作用在 y 轴上的偏心距和偏心距增大系数。

规范明确指出,公式(1)适用于具有两个互相垂直对称轴的双偏压构件,且它只能用来进行承载力验算,所以L形截面不能用尼克勤公式来进行截面承载力验算或截面配筋设计;文献[2]的一些资料也表明,不能用规范中的公式(1)对L形截面柱进行设计。我们的分析结果表明,规范的尼克勤公式(1)也不能用于L形截面柱的截面承载力验算和截面的配筋设计。

2.2 对工程中一些设计方法的讨论

为了解决双向荷载下L形截面的配筋问题,在无规范设计公式的情况下,现行工程应用中常采用以下一些近似方法。

(1)在计算L形截面双向偏压柱时,单独考虑其中一个方向的偏心弯矩,且将该方向上外伸翼缘忽略,按矩形截面进行配筋计算;然后再考虑另一个方向的弯矩,按照同样方法进行计算。这种粗略的简化方法,不仅将截面加以简化,而且将两个方向的弯矩分开来考虑,显然是不合理的。

(2)与(1)中方法略有不同,计算单向弯矩作用下截面的配筋时,考虑翼缘的作用,将L形截面的翼缘折算成T形截面。这种计算方法在一些情况下较为接近,一些情况下过高地估计了截面的承载力,而有些情况下又偏于不安全,这些都是设计人员所无法预见的。文献[2]对该法进行的分析比较表明,该法也不能用于设计。

(3)文献[2]中提出的方法。文献[2]在对一些实验结果分析的基础上,得出了L形截面双向偏心荷载下截面的配筋设计公式。其设计公式的得出是以(2)中方法按T形截面的计算结果为依据,也是分别考虑两个方向的弯矩,且计算公式复杂,不便于在工程设计中使用。

其正截面承载力的计算公式为:

$$N = \alpha N_x \tag{6}$$

$$N = \beta N_y \tag{7}$$

其中 N_x、N_y 分别为按T形截面仅考虑两对边纵向受力钢筋计算的偏心受压构件所能承受的纵向力;α、β 分别为以初始偏心距 e_{0x}/b、e_{0y}/h 为参数的修正系数。

(4)文献[3]中提出的方法。广东省于1995年颁布的《钢筋混凝土异形柱设计规程》(以下简称"规程")对等肢L形截面双向偏压柱给出了设计方法,规程将双向偏心受压弯矩近似化为轴向力作用于对称轴即 v 轴(见图1)上的当量弯矩。当量弯矩按下列公式计算:

$$M_{v0} = 1.2M_0\sqrt{\frac{0.45+\mathrm{tg}^2\theta}{\mathrm{tg}^2\theta}} \tag{8}$$

$$M_0 = N\sqrt{e_{ix}^2+e_{iy}^2} \tag{9}$$

$$\mathrm{tg}\,\theta = \frac{e_{iy}-e_{ix}}{e_{iy}+e_{ix}} \tag{10}$$

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

当 $e_{iy}+e_{ix}=0$ 时，取 $M_{v0}=1.2M_0$

式中 M_{v0}——轴向力作用于对称轴上的当量弯矩设计值，取正值；

M_0——轴向力设计值对截面形心的弯矩；

N——轴向力设计值；

e_{ix}、e_{iy}——轴向力对 y 轴、x 轴的初始偏心距，按 $x-y$ 坐标取正负值（图 2）；

θ——双向偏心弯矩方向与 u 轴的夹角（图 1）。

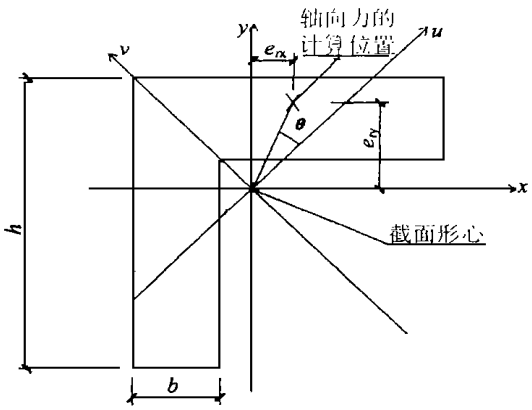


图 1　L 形截面的计算坐标

得到当量弯矩后，再根据一些常用截面的配筋表格选择配筋。

由于对 L 形柱将 x、y 两个方向的弯矩化为作用于对称轴（即 v 轴）上的当量弯矩，所以当两个方向的弯矩相差不大时，这种方法是可以采用的，但当两方向的弯矩相差较大时，误差就较大了；其次，方法没有考虑当量弯矩的正负号，即不论 x、y 方向的弯矩作用方向如何，只要当量弯矩相等配筋即相等，这显然是不合理的。

上述方法都没有很好地解决 L 形截面柱在双向弯矩作用下的截面配筋问题，因此迫切需要一个安全合理，且设计使用方便的方法来指导工程设计人员。

3　本文提出的设计方法简介

为了解决现有的双向偏心弯矩作用下构件配筋的合理设计方法，文献[4] 提供了一个计算结果合理又使用方便的设计计算方法。鉴于 GBJ10－89 规范对正截面计算时都是以四个基本假定为基础，满足内力平衡条件而给出的[1]，因此本法也采用相应的基本假定，即：

（1）截面应变保持平面；

（2）不考虑受拉区混凝土的抗拉强度；

（3）混凝土弯曲抗压强度设计值 f_{cm}，极限压应变为 0.0033；

（4）钢筋应力取等于钢筋应变与其弹性模量的乘积，但不大于其强度设计值。

在计算中，受压区混凝土的应力图形简化为等效的矩形应力图，其高度取等于中和轴高度的 0.8 倍，而矩形应力图的应力可取为混凝土弯曲抗压强度设计值。

需要指出的是，在以上的第（4）条假定与规范假定相比有一些发展。GBJ10－89 规范在考虑受拉区钢筋的应力时，采取强度设计值，即考虑其受拉屈服，这对于单向受弯、配筋较集中于一侧并远离中和轴的情况下是合理的，但对于双向受弯、中和轴偏斜的情况，有的钢筋可能很靠近中和轴，甚至就在中和轴边缘，这时钢筋的应力取强度设计值显然是不合理的。所以上述假定（4）是结合双向偏心受弯的实际情况作出的一个改进建议。

由于本文提出的新方法，在分析中考虑了材料力学和钢筋混凝土结构的基本原理，钢筋的应力为其应变与弹性模量的积，当超过强度设计值时，按强度设计值计算，钢筋应变随钢筋距中和轴位置愈进而减小，因此靠进中和轴的钢筋应力可能小于其强度设计值。

对任一截面，其内力 P、M_x、M_y 是由钢筋面积及中和轴位置唯一确定的。我们可以建立以下三个方程：

$$P=f(y_1,y_2,A_s) \tag{11}$$

$$M_x=g(y_1,y_2,A_s) \tag{12}$$

$$M_y=h(y_1,y_2,A_s) \tag{13}$$

其中 P、M_x、M_y 为截面的设计内力；y_1、y_2 为中和轴与任意平行 y 轴二直线交点的纵坐标；A_s 为钢筋面积。解此方程组，即可求得钢筋面积及相应中和轴位置。

对一些形状简单截面柱，上述三个方程虽然可用数学公式表示出来，但要从中得出数学解析解是困难的。而对形状复杂及任意钢筋布置柱，既使建立上述三个方程的数学表达式都是不可能的。因此可用数字化方法利用计算机来解决钢筋混凝土柱的配筋问题。

计算采用迭代法，迭代中常遇到的一个问题是迭代的收敛问题。迭代是否收敛与截面的几何尺寸和迭代开始时所假定的初始中和轴位置 y_1、y_2 以及钢筋面积有关。为此，我们的研究采用了专门技术使程序成功进入实用阶段，很好地解决了这一难题。

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

利用计算机进行分析，将整个截面置于 $x-y$ 坐标系的第一象限，首先要对截面进行网格划分。当某一网格上截面为实心时，标定其相应面积；当某一网格为空心时，标定其面积为零。这样即把整个混凝土截面以及钢筋转化为一系列点坐标及相应面积，即（x_{ci}、y_{ci}、A_{ci}），（x_{si}、y_{si}、A_{si}），其中当截面为已知时，（x_{ci}、y_{ci}、A_{ci}）即已知，当钢筋位置确定后，（x_{si}、y_{si}）也为已知。这样以 y_1、y_2、A_s 为变量，按前述方法即可求得所需的钢筋面积及相应的中和轴位置。

本法计算中设计内力 P、M_x、M_y 的正负号按如下规则规定：P 为压力时取正值；M_x、M_y 的正负号按右手法则，即 M_x 为偏心作用在 y 轴绕 x 轴的弯矩，M_x 为使截面上半部受压时取正值；M_y 为偏心作用在 x 轴绕 y 轴的弯矩，M_y 为使截面右半部受压时取正值（见图2）。

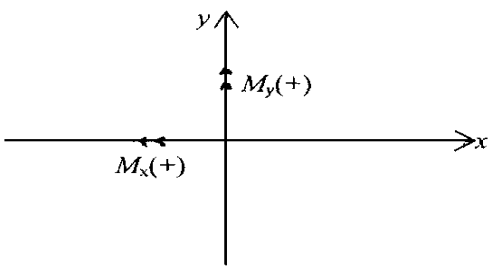


图2 M_x、M_y 正负号规定

按上述方法，我们编制了相应的计算程序DASC1.0。程序可计算任意形状截面柱在任意荷载下的配筋，计算快速方便，而且保证计算结果绝对收敛，最后求得的钢筋面积与相应的中和轴位置，均满足外力 P、M_x、M_y 三个基本平衡条件。

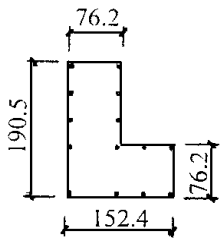
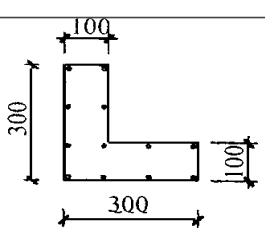
使用中只需给出截面上钢筋的布置位置。因为实际设计中，由于各种构造要求和一些其它要求，对某一截面来说，钢筋的布置方式基本上是已知的，而具体钢筋的面积是未知的。所以该程序使用起来很方便。更重要的是，它不再单独考虑某个偏心计算，而是同时考虑设计内力值 P、M_x、M_y，使它们同时满足平衡条件，避免了错误的出现。

4 本文方法与实验结果的比较

对于钢筋混凝土L形截面偏压柱，国内外有一些实验结果，本节利用本文方法对这些实验结果进行分析，并与实验结果进行比较，可作为验证本文计算方法正确性的一个依据。

表1列出了国内外有关L形柱实验的16根模型柱的一些基本参数[2,5,6]。现在按本文方法对这些实验柱的极限承载力进行分析，模型柱计算极限承载力、实验极限承载力、实验值与计算值之比也列于表1。

表1 本文方法与实验结果比较表

资料来源	截面	编号	纵向钢筋	f_y (MPa)	f_{cm} (MPa)	实验时轴向作用力偏心 e_{0x} (mm)	实验时轴向作用力偏心 e_{0y} (mm)	实验值 P (kN)	本文方法计算值 N (kN)	实验值/计算值 P/N
文献[5]		1	14Φ9.52	357.42	22.93	44.45	6.35	—	—	0.784
		2	14Φ9.52	357.42	22.81	16.33	16.33	—	—	0.993
		3	14Φ9.52	357.42	22.62	35.38	−9.07	—	—	0.968
		4	14Φ9.52	462.30	25.50	38.86	127.0	—	—	1.236
		5	14Φ9.52	462.30	25.50	42.67	139.7	—	—	1.252
		6	14Φ9.52	400.20	24.29	42.67	165.1	—	—	1.167
		7	14Φ9.52	357.42	21.12	16.33	16.33	—	—	0.867
		8	14Φ9.52	357.42	23.49	16.33	16.33	—	—	0.818
		9	14Φ9.52	357.42	21.31	16.33	16.33	373.73	487	0.767
		10	14Φ9.52	357.42	23.57	35.38	−9.07	387.52	382	1.014
文献[6]		11	8Φ10+4Φ6	223.80	15.45	−65.0	−65.0	360.0	325	1.108
		12	8Φ10+4Φ6	229.8	15.76	−35.0	−35.0	570.0	542	1.052
		13	8Φ10+4Φ6	232.4	14.12	−110.0	−110.0	170.0	171	0.994
		14	8Φ10+4Φ6	229.86	21.00	−120.0	−110.0	330.0	308	1.071
		15	8Φ10+4Φ6	232.44	20.33	−60.0	−60.0	680.0	638	1.066
		16	8Φ10+4Φ6	238.90	22.88	−20.0	−100.0	560.0	494	1.134

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1 中用本文方法计算的截面承载力 N，同时考虑了 x、y 两个方向的偏心，与实验值的比较结果说明，除个别柱偏差稍大外，一般都很接近。实验值与计算值之比的平均值 $\mu=1.018$，变异系数 $\delta=0.142$。从中可以看出，由于本文提出的新方法是在符合实际情况和规范规定的基本假定上得出来的，具有普遍性，对各种不同情况的双向偏压荷载作用下的计算值与实验值均较接近。

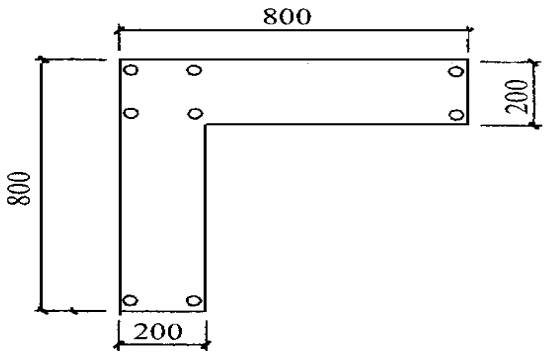


图 3

5　本文方法与“规程”方法的比较

以下用工程实例对文献 [3] 方法和本文方法进行比较分析。图 3 为文献 [3] 规程中一等肢 L 形截面柱，混凝土强度等级为 C20，钢筋为Ⅱ级钢。按规程和本文提出的新设计方法的计算结果的比较见表 2。表中弯矩 M_x，M_y 的正负号按新方法规定采用。

正如前面所介绍的，由于“规程”对 L 形柱计算时，采用将 x、y 两个方向的弯矩化为作用于对称轴（即 v 轴）上的当量弯矩的方法，所以当两个方向的弯矩相差不大时，这种方法的误差较小；但当两方向的弯矩相差较大时，误差就较大了。而且“规程”方法没有考虑当量弯矩的正负号，即不论 x、y 方向的弯矩作用方向如何，只要当量弯矩相等所得到的配筋量即相等，这显然是不合理的。

为此，对不同荷载作用位置下图 3 中 L 形截面柱，按照“规程”计算方法得到的钢筋面积和本文方法计算得到的钢筋面积进行比较分析。其中作用荷载的类型主要有：

（1）x、y 两个方向的偏心弯矩 M_x、M_y 异号，数值相等（见表 2 中的第 1、2 组）；

（2）x、y 两个方向的偏心弯矩 M_x、M_y 同号，数值相等（见表 2 中的第 3、4 组）；

（3）x、y 两个方向的偏心弯矩 M_x、M_y 异号，数值不等（见表 2 中的第 5、6 组）；

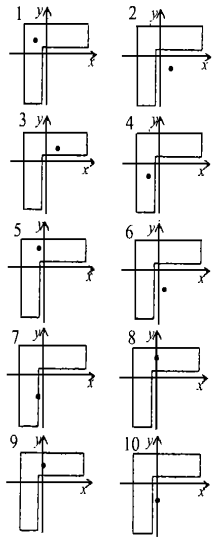
（4）x、y 两个方向的偏心弯矩 M_x、M_y 同号，数值不等（见表 2 中的第 7、8 组）；

（5）x、y 两个方向的偏心弯矩 M_x、M_y，其中一个为 0（见表 2 中的第 9、10 组）。

表 2　计算结果的比较

组号	设计荷载 N（kN）	设计荷载 M_x（kN—m）	设计荷载 M_y（kN—m）	本文计算结果 A_s（mm²）	规程计算结果 当量弯矩 M_{v0}（kN—m）	规程计算结果 A_s'（mm²）	误差 $\frac{A_s'-A_s}{A_s}$（%）
1	2000	242	−242	355	411	491	+38.3
2	2000	−242	242	303	411	491	+62.0
3	2000	242	242	58	275	201	+246.6
4	2000	−242	−242	58	275	201	+246.6
5	2000	360	−90	321	412	491	+53.0
6	2000	−360	90	436	412	491	+12.6
7	2000	−360	−90	360	344	355	−1.4
8	2000	360	90	144	344	355	+146.5
9	2000	294	0	107	300	255	+138.3
10	2000	−294	0	225	300	255	+13.3

荷载作用位置示意简图：



注：① 由于规程仅给出设计图表，未能直接计算配筋量，表中“规程计算结果”A_s'的数值是查图表 中的钢筋直径后计算的；

②简图中的黑点 ●’ 所示位置，为轴向力的作用位置。

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

从表2中的计算结果可以看出以下几点：

(1)当两个方向偏心弯矩 M_x、M_y 异号，数值相等，即合力弯矩作用在截面的对称轴上时(如表2中的第1、2组荷载)，规程计算的结果与本文方法计算结果相比，误差较小，最大为62.0%。这是因为当两个方向弯矩作用在截面的对称轴 v 轴(见图1)上时，规程中简化计算得到的当量弯矩也正是作用在截面的对称轴上，故而较为一致，二者间的误差的产生，一部分是由于规程计算公式中提高了20%的安全度所引起的(见规程附件4第4.1.2.3条)。

当 M_x、M_y 异号，数值不等但相差不大，即合力弯矩作用在与截面对称轴相近的位置时(如表2中的第5、6组荷载)，规程计算的结果误差也不大，最大者仅达53.0%。这时将两个方向的弯矩简化为对称轴上的当量弯矩产生的误差较小，且误差中一部分也是由于规程公式中提高了20%安全度引起的(见规程附件4第4.1.2.3条)。

(2)当 M_x、M_y 同号且数值相等时(如表2中的第3、4组荷载)，规程计算的结果误差较大，最大者达246.6%，且都是正误差，即多用了钢材。这是因为此时两个方向偏心弯矩的合力弯矩作用在与截面对称轴垂直的轴上，如将两个方向的弯矩简化为对称轴上的当量弯矩，势必会产生较大的误差。推而可知，随着合力弯矩作用位置距截面对称轴距离的增大，误差将越来越大。

(3)规程中采用当量弯矩的计算方法，理论上有一定问题。当 x、y 方向的弯矩大小和作用方向交叉改变(如表2中的第1和第2组、第5和第6组、第7和第8组、第9和第10组)，规程计算的当量弯矩无变化，因而规程计算结果的截面配筋不变，但很明显弯矩大小、正负号发生变化后，截面的受力情况就发生变化，因而配筋也将变化。规程计算的结果与新方法计算结果相比，有时误差很大(如表2中的第3、4组达246.6%、第8组达146.5%)，也有误差可能较小的情况，使对规程计算结果的误差事先无法预知或估计，因而设计者在应用规程计算方法时有较大疑问。鉴于规程对等肢L形截面柱的配筋设计方法存在着明显的不合理之处，应引起工程界的足够注意，并应及时予以合理解决。

6 结 论

由前面的分析和算例看出，现行工程中对钢筋混凝土L形截面双向偏压柱正截面设计的一些计算方法，有的适用范围有限，有的计算方法给出的结果与实际相差太大，计算结果有时偏大，有时偏于不安全，不但计算方法不够合理，且使用上也不方便，不能很好地解决L形双偏压柱的配筋问题。本文给出的L形截面双偏压柱新配筋设计方法，解决了目前工程中设计人员进行柱子配筋时遇到的难题。文中提出的配筋设计方法，满足规范有关正截面计算基本假定和内、外力平衡条件。由前面的分析和算例可以看出，这种配筋设计方法计算方法合理，计算结果便于直接配筋，方便了工程设计人员。

[参考文献]

[1] 中华人民共和国国家标准，GBJ10－89，混凝土结构设计规范[S].

[2] 王玉朋. 钢筋混凝土双向偏压L形柱正截面承载力的实用计算方法[J]. 建筑结构，1992.4.

[3] 广东省建设委员会，DBJ/T 15－15－95，钢筋混凝土异形柱设计规程[S].

[4] 伍甘棠，王森，魏琏. 任意形状截面钢筋混凝土柱的配筋设计方法[J]. 建筑科学，1999.5.

[5] Joqquin Marin. Design Aids for L－Shaped Reinforced Concrete Columns[J]，ACI Journal，Novermber，1979.

[6] 何一东. 钢筋混凝土L形柱实验研究[C]. 华南理工大学硕士学位论文，1989.

[7] 魏琏，王森，林云. 对《钢筋混凝土异形柱设计规程》配筋计算方法的讨论[C]. 第一届深圳市建筑结构工程学术交流会论文集. 1998.12.

[8] 魏琏，王森，林云. 钢筋混凝土矩形截面双向偏压构件配筋新方法[C]. 第一届深圳市建筑结构工程学术交流会论文集，1998.12.

(上接第24页)

[参考文献]

[1] 史志华，聂永明，陶学康. 环氧树脂涂层钢筋综述[R]. 中国建筑科学研究院结构所技术资料，1997.5.

[2] J. R. Clifton，H. F. Beeghly，R. G. Mathy. Nonmetallic Coatings for concrete Reinforcing Bars. Coatings Materials[M]. National Bureau of Standard Technical Note，Apr. 1973.

[3] 聂永明. 环氧涂层钢筋搭接长度及梁受弯性能试验研究[C]. 中国建筑科学研究院硕士论文，1998.4.

[4] BS8110，1985[S].

[5] 徐有邻，刘立新等. 环氧树脂涂层钢筋粘结锚固性能的试验研究[R]. 中国建筑科学研究院，郑州工业大学，1997.12.

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net