

文章编号:1006-544X(2003)04-0441-04

矩形钢管混凝土短柱受压承载力计算

王 蕾, 江 雪

(桂林工学院 土木工程系, 广西 桂林 541004)

摘 要: 在实验基础上, 比较了矩形钢管混凝土轴心受压和偏心受压构件应用方钢管混凝土构件在 GJB (2000) 中轴压和压弯构件承载力的计算公式的差异; 提出了在方钢管混凝土轴压承载力计算公式基础上的修正公式, 即将原公式中的约束效应系数考虑截面长宽比的影响后乘以折减系数 0.9. 修正公式可供矩形钢管混凝土轴心受压柱参考.

关键词: 矩形钢管混凝土; 轴心受压; 偏心受压; 承载力

中图分类号: TU398.9

文献标识码: A^①

钢管混凝土结构按截面形式可分为圆形钢管混凝土、方钢管混凝土、矩形截面钢管混凝土和多边形钢管混凝土, 其中圆形截面钢管混凝土采用得较多, 因为圆形钢管能对其核心混凝土起到有效的约束作用, 而使混凝土的强度得以提高, 塑性和韧性性能大为改善. 而在矩形钢管中填充混凝土而形成的矩形钢管混凝土结构中, 矩形钢管对其核心混凝土的约束效果不如圆钢管显著, 但矩形钢管混凝土除了具有矩形钢管结构的外形美观、节点形式简单 (与梁连接节点构造处理简单) 等优点外, 还具有能有效地提高构件的延性及有利于抗火和防火等特点, 受到国内外的普遍重视.

圆钢管混凝土结构在土木工程中已得到广泛应用, 而方、矩形钢管混凝土的工程实践则尚少见, 原因之一是缺乏有关设计规程. 目前对矩形钢管混凝土构件力学性能的研究尚不够完整、系统: Bradford MA 对矩形钢管混凝土构件承载力的理论计算方法进行了初步探讨^[1]; Shakir-khalil H 等人进行了截面长宽比为 1.5 的 20 个轴心受压短试件和 16 个中长柱承载力的试验研究^[2,3]; 韩林海等人进行了 24 根矩形截面钢管混凝土轴心受压短柱的试验研究^[4], 分析了约束效应系数和截面长宽比对矩形钢管混凝土力学性能和强度承载力

的影响, 但均未得出矩形钢管混凝土构件的实用计算公式. 目前对矩形钢管混凝土构件的承载力计算大多限于应用方钢管混凝土构件相应公式, 对其差异进行调整, 文献 [5] 在实验基础上提出了考虑长宽比后的可应用于矩形截面钢管混凝土轴心受压构件的修正计算公式, 但因其试件的截面长宽比多数为 2, 所以其结果不具有普遍适用性. 文献 [6] 在大量实验基础上得出了方形钢管混凝土构件受压和受弯计算公式, 其研究成果被国家经济贸易委员会《钢-混凝土组合结构设计规程》(DL/T 5085-1999)^[7] 及国家军用标准《战时军港抢修早强型组合结构技术规程》(GJB 4142-2000)^[8] 采用. 但缺少矩形钢管混凝土资料, 故进一步研究是很有必要的. 为了比较矩形钢管混凝土和方钢管混凝土在受压计算时的差异, 制作了 4 种钢管混凝土构件, 分别为 4 根轴心受压和 4 根偏心距为 20 mm 的偏心受压构件, 将计算结果与文献 [8] 中方钢管轴心受压和压弯构件承载力计算公式进行了比较, 可供有关设计计算参考.

1 试验基本情况

实验在本院 200 t 压力机室进行, 其中钢材采用 Q235 板材, 其实测屈服强度 $f_y = 308.4 \text{ N/mm}^2$,

① 收稿日期: 2003-08-05; 修订日期: 2003-09-14

作者简介: 王蕾 (1972-), 女, 重庆璧山人, 硕士研究生, 讲师, 研究方向: 建筑结构.

抗拉强度 f_u 为 446.7 N/mm^2 , 弹性模量为 $2.064 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$; 混凝土的配合比为: 水泥: 砂: 碎石: 水 = $1: 1.65: 2.52: 0.42$; 实验时实测其立方体抗压强度平均值为 36.38 N/mm^2 , 计算时取混凝土轴心抗压强度标准值 $f_{ck} = 0.67f_{cu,k} = 24.37 \text{ N/mm}^2$. 矩形钢管由4块钢板拼焊而成, 焊缝为贴脚焊缝. 钢管两端设有比截面略大的 10 mm 厚的盖

板, 轴心受压构件将试件两端打磨平整后直接放在压力机上进行实验, 偏心受压构件则另做 30 mm 厚设有凹槽的加载板, 用 50 mm 宽和厚的带有凸榫的辊轴施加压力. 构件长度 600 mm . 在试件中截面中心位置分别贴纵向和横向2片应变片, 沿周边共8片, 以量测变形. 试件基本情况及实验和计算结果见表1.

表1 试件基本情况及试验与计算结果对比

Table 1 Basic conditions of testing members and comparisons between calculated and experimental results

构件编号	截面尺寸 ($h \times b \times t$) (mm)	截面 长宽比	约束效应系数 $\xi = f_y A_s / f_{ck} A_c$	偏心 矩 e	文献[8]公式 计算 N_{uc}/kN	实测 N_{uc}/kN	实测值与计算 值的差别/%	N_{uc}/N_{ue}
RC1-1	$150 \times 150 \times 4$	1	1.466		1 345.91	1 358	0.90	0.991
RC1-2	$150 \times 125 \times 4$	1.2	1.627	0	1 175.93	1 092	-7.80	1.076
RC1-3	$150 \times 110 \times 4$	1.36	1.761		1 073.56	988	-7.97	1.087
RC1-4	$150 \times 100 \times 4$	1.5	1.875		1 005.23	920	-8.07	1.093
RC2-1	$150 \times 150 \times 4$	1	1.466		1 000.75	980	-2.07	1.021
RC2-2	$150 \times 125 \times 4$	1.2	1.627	20	881.96	898	-1.82	0.982
RC2-3	$150 \times 110 \times 4$	1.36	1.761		813.47	840	3.26	0.968
RC2-4	$150 \times 100 \times 4$	1.5	1.875		764.36	780	2.05	0.980

差别值为: $(N_{uc} - N_{ue}) / N_{ue} \times 100\%$, 表2、表3的差别值计算相同. t 为钢材厚度.

2 试验结果分析

从表1看出, 方钢管混凝土轴压构件的计算极限承载力与实测承载力较接近, 随着截面长宽比的增加, 计算承载力与实测承载力的差异加大. 而且矩形钢管混凝土轴压实测承载力比应用方钢管轴压承载力计算公式计算所得承载力偏低很多, 主要的原因应该是矩形钢管对其核心混凝土的约束作用较方钢管弱. 说明矩形钢管混凝土轴压构件不能直接套用方钢管混凝土轴压构件的承载力计算公式. 而在偏心受压构件的承载力对比中, 则未有像应用方钢管轴压公式计算矩形钢管混凝土那样大的偏差, 且从实验结果可以看出, 方钢管压弯构件采用曲线形式的轴力-弯矩相关方程^[8]应用在矩形钢管混凝土偏心受压构件时较为接近, 且实测值多数高于计算值, 偏于安全.

在方钢管轴压承载力计算公式中以约束效应系数 ξ 为主要变量 ($\xi = f_y A_s / f_{ck} A_c$, 式中 f_y , f_{ck} 分别为钢管的屈服强度和混凝土的轴心抗压强度; A_s , A_c 分别为钢管和核心混凝土的截面面积). 对于某一特定的钢管混凝土截面, ξ 值可以反映出钢管混凝土截面钢材和核心混凝土的几何特性和物

理特性参数的影响: ξ 值越大, 表明钢材所占“比重”大, 混凝土的“比重”相对较小; 反之, ξ 值越小, 表明钢材所占“比重”小, 混凝土的“比重”相对较大. 约束效应系数 ξ 对钢管混凝土性能的影响主要表现在: ξ 值越大, 受力过程中钢管对其核心混凝土提供的约束作用就越强, 混凝土强度和延性的增加相对较大, 反之亦然.

本文在文献[6]的基础上, 对方钢管轴压承载力计算公式中的约束效应系数 ξ 值进行修正, 设修正后的约束效应系数为: $\xi' = K \times \xi$. 将修正后约束效应系数 ξ' 代入文献[8]中方钢管混凝土轴心受压计算公式.

$$N_u = A_{sc} f_{scy}$$

其中: $A_{sc} = A_s + A_c$, 为钢管混凝土横截面面积; f_{scy} 为方钢管混凝土轴压强度指标

$$f_{scy} = (1.212 + B\xi + C\xi^2)f_{ck}; B = 0.1381f_y/235 + 0.7646; C = -0.0727f_{ck}/20 + 0.0216.$$

令 N_u 等于实测值, 先解得 ξ 后再解得 K 值分别为0.8482, 0.8344, 0.8264 (对应试件RC1-2, RC1-3和RC1-4). 考虑到试件在养护到2周时焊上盖板, 此时混凝土还未完全达到其极限抗压强度, 受焊接局部高温影响, 强度比试块低, 导

致实测矩形钢管混凝土构件的实测承载力偏低(因为试件大多在紧靠上盖板处钢板拱起,焊缝开裂,裂缝处混凝土被压碎而致构件破坏),取 K 等于0.9.将 ξ 值修正后代入原计算公式的计算结果与实测结果进行比较,从表2可知,方钢管混

土轴压公式在用于计算方钢管时非常适用,在计算矩形钢管混凝土时将 ξ 值修正后,计算承载力与实测承载力更接近.将这一修正系数应用于文献[2,3]的计算承载力时也能较好地符合,修正后计算承载力与实测值差别大大减小(表3).

表2 实测值与修正文献[8]公式计算值和叠加法计算承载力值比较

Table 2 Capacity comparisons among experimental results, results calculated with the modified formulas and with superposition method

构件编号	截面长宽比	实测 N_{uc}/kN	修正文献[8]公式后计算 N_{uc}/kN	实测值与修正公式差异/%	叠加钢管和混凝土的承载力/kN	实测值与叠加公式差别/%
RC1-1	1	1 358	1 158.09		1 211.82	10.76
RC1-2	1.2	1 092	1 121.01	-2.65	1 063.63	-2.60
RC1-3	1.36	988	1 022.45	-3.48	974.71	-1.35
RC1-4	1.5	920	956.75	-3.99	915.43	-0.50

表3 文献[2,3]实测值与未经修正公式和经过修正公式计算承载力值比较

Table 3 Capacity comparisons among experimental results, results calculated with the original formulas and with modified formulas

截面尺寸 ($h \times b \times t$) (mm)	长度 L /mm	$f_y/$ ($N \cdot mm^{-2}$)	$f_{ck}/$ ($N \cdot mm^{-2}$)	ξ	实测 N_{uc}/kN	文献[8]公式 计算 N_{uc}/kN	差别 /%	修正 ξ 后计 算 N_{uc}/kN	修正后 差别/%
120 × 80 × 5	200	386.3	28.01	3.4	950	984	-3.58	939.85	1.07
120 × 80 × 5	200	384.7	25.46	3.7	900	958	-6.44	910.28	-1.92
120 × 80 × 5	200	343.3	28.64	3.0	900	921	-2.33	885.04	1.66
120 × 80 × 5	200	357.5	28.01	3.2	920	937	-1.85	901.82	1.97
150 × 100 × 5	200	346.7	29.28	2.3	1 210	1 302	-7.78	1 253.02	-3.56
150 × 100 × 5	200	346.7	29.41	2.2	1 200	1 304	-8.67	1 232.96	-2.75
150 × 100 × 5	200	340	29.66	2.2	1 190	1 293	-8.66	1 238.39	-4.07
150 × 100 × 5	200	340	30.04	2.2	1 200	1 300	-8.33	1 251.81	-4.32

t 为钢板厚度.

目前,国内有人认为方钢管和矩形钢管混凝土构件中钢管对核心混凝土不起套箍约束作用^[9],构件截面的承载力仅仅是钢管和内部混凝土承载力的简单叠加.用这种理论计算的方钢管和矩形钢管混凝土轴心受压构件的承载力和实测承载力的结果见表2第6、7列.从表2叠加计算公式结果与实测承载力结果比较可看出,方钢管不考虑钢管对核心混凝土的约束作用比考虑钢管对核心混凝土的约束作用计算的差别值增大;而矩形钢管混凝土构件在不考虑钢管对核心混凝土的约束作用后,差别值有明显的减小,更可说明矩形钢管混凝土构件钢管对其核心混凝土的约束作用较方钢管差,而且随着偏心矩的增大矩形钢管混凝土构件的承载力实测值与不考虑钢管对核心混凝土的约束作用的承载力值越接近.

3 结 论

(1) 矩形截面钢管混凝土轴心受压构件不能简单套用方钢管混凝土轴心受压计算公式,但矩形钢管混凝土偏心受压构件在应用方钢管压弯构件采用曲线形式的轴力-弯矩相关方程时实测值与计算值则较为接近.

(2) 虽然矩形截面钢管混凝土钢管对其核心混凝土的约束作用较方钢管的弱,但矩形截面钢管混凝土轴压构件承载力计算时也需考虑钢管对其核心混凝土的约束作用.在试验及方钢管混凝土轴压计算公式的基础上提出了矩形截面钢管混凝土构件轴心受压承载力计算公式.

(3) 矩形截面长宽比对此约束作用的影响有待于进一步深入研究.

参考文献

- [1] Bradford M A. Design strength of slender concrete - filled - rectangular steel tubes [J]. ACI Structural Journal, 1996, 93 (2): 229 - 235.
- [2] Shakir-Khalil H, Zeghiche J. Experimental behavior of concrete filled rolled rectangular hollow-section column [J]. Structural Engineer, 1989, 67 (19): 346 - 353.
- [3] Shakir-Khalil H, Mouli M. Further tests on concrete-filled rectangular hollow-section columns [J]. Structural Engineer, 1990, 68 (20): 405 - 413.
- [4] 韩林海, 杨有福. 矩形钢管混凝土轴心受压构件强度承载力试验研究 [J]. 土木工程学报, 2001, 34 (4): 22 - 31.
- [5] 蒋涛, 沈之容, 余志伟. 矩形钢管混凝土轴压短柱承载力计算 [J]. 特种结构, 2000, 19 (2): 4 - 6.
- [6] 韩林海. 钢管混凝土结构 [M]. 北京: 科学出版社, 2000. 196 - 200.
- [7] DL/T 5085 - 1999, 钢 - 混凝土组合结构设计规程 [S].
- [8] GJB 4142 - 2000, 战时军港抢修早强型组合结构技术规程 [S].
- [9] 蔡绍怀. 现代钢管混凝土结构 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.

Calculation of load capacities for short concrete-filled steel-tube columns with rectangular section

WANG Lei, JIANG Xue

(Department of Civil Engineering, Guilin Institute of Technology; Guilin 541004, China)

Abstract: Comparisons are made between experimental bearing capacities of concrete-filled-rectangular steel tube columns under axial and eccentric compression and the theoretical results calculated with formulas in code GJB (2000) for concrete-filled-foursquare steel tube columns under corresponding loading conditions. Modified formulas, based on formulas for concrete-filled-foursquare steel tube columns, are presented by timing the original coefficient with 0.9. The modified formulas provide reference for calculation of bearing capacities of concrete-filled-rectangular steel tube column under axial compression.

Key words: concrete-filled-rectangular steel tube columns; axial compression; eccentric compression; bearing capacity