

文章编号: 1005-0523(2007)01-0019-03

圆钢管混凝土柱轴压承载力计算探讨

张岩, 张安哥

(华东交通大学 土木建筑学院, 江西 南昌, 330013)

摘要: 在大量国内外实验数据分析的基础上, 回归了钢管混凝土轴压短柱强度承载力和长柱稳定承载力的计算公式, 计算结果与实验结果符合较好; 该公式计算简单, 物理概念明确, 可为工程设计提供参考。

关键词: 钢管混凝土; 稳定承载力; 稳定系数

中图分类号: TU398.9

文献标识码: A

钢管混凝土具有优越的力学性能; 内填混凝土增加了钢管壁的稳定性; 钢管的约束作用使核心混凝土处于三向受压应力状态, 提高了混凝土的抗压强度和变形能力, 因此钢管混凝土柱以其稳定承载力高、抗弯性能好、施工方便等优点, 在实际工程上得到广泛的应用。到目前为止, 国内外学者对钢管混凝土柱的轴压稳定承载能力已经做过一些研究, 并给出了相应的计算公式。但鉴于钢管混凝土构件本构关系的复杂性, 寻找既有一定精度又便于工程应用的轴压稳定承载力计算公式, 依然受到工程界的普遍关注。

1 轴压构件极限承载力研究现状

钢管混凝土构件轴心受压时的极限承载力求解的方法大致有以下三种:

1) 修正的欧拉公式:

$$N_{cr} = \pi^2 (E_s I_s + E_c I_c) / L^2 \quad (1)$$

式中, E_s 和 E_c 分别为钢管和混凝土的弹性模量; I_s 和 I_c 分别为钢管和混凝土的截面惯性矩;

对于长柱在弹性阶段稳定承载力, 可采用欧拉公式(如公式(1)所列)进行计算。对于非弹性阶段的承载力, 文献[1]用修正的 Euler 公式确定, 即将 Euler 公式中的弹性模量用切线模量代替, 为此需建立钢管混凝土应力-应变关系曲线。

2) 数值解法: 文献[2]利用纤维模型法计算钢管混凝土的承载力, 并与实验结果进行了比较, 计算值结果与实验结果吻合较好, 验证了纤维模型法的正确性。然后通过参数分析, 回归出钢管混凝土构件的承载力的计算公式。

3) 经验公式法: 文献[3]从大量试验数据中, 找出长细比对承载力的影响规律, 回归得到钢管混凝土构件稳定承载力经验公式, 此方法简单直观。但长柱与中长柱的承载力与长细比的不同关系没有具体体现, 概念不明确。

2 轴压短柱强度承载力

对于长径比较小的钢管混凝土短柱^[3]($L/D < 4$), 其破坏时核心混凝土被压碎, 此时钢管已达到屈服, 因此其极限承载力可由核心混凝土与钢管两部分的强度承载力叠加组成; 由于钢管对混凝土的约束作用, 使混凝土处于三向受力状态, 强度比单向受力时有一定的提高。为了简化计算, 本文引入混凝土强度提高系数 k 来考虑钢管使混凝土强度的提高。

通过对 220 组圆钢管混凝土轴压短柱(钢管混凝土实验数据库 <http://web.ukonline.co.uk/asccs2/>) ($L/D < 4$) 试验结果的分析, 可知混凝土强度提高系数 k 与约束效应系数 ξ 有关, 其关系可表示为:

收稿日期: 2006-10-13

基金项目: 江西省自然科学基金资助项目(No. 0550018)

作者简介: 张岩(1982-), 女, 山东枣庄人, 华东交通大学土木建筑学院在读硕士研究生, 研究方向: 钢管混凝土结构

$$k=1+0.615\xi \quad (2)$$

式中： $\xi=A_{sf_y}/A_c f_{ck}$ ； A_c 、 A_s —分别为核心混凝土、钢管的截面积(mm^2)； f_{ck} —核心混凝土标准抗压强度(MPa)； f_y —钢材屈服极限(MPa)；

由上式可见， ξ 越大，混凝土强度提高越多，钢

管混凝土的承载力也随之提高。

轴压短柱强度承载力的计算公式可以表示为：

$$N_u = kA_c f_{ck} + A_s f_y \quad (3)$$

此公式的适用范围： $L/D \leq 4$ ， $D/t = 13.71 \sim 192.31$ ， $f_{ck} = 9.9 \sim 108$ ， $\xi = 0.04 \sim 4.54$ 。

表1 钢管混凝土轴压强度承载力计算值与试验值的比较

数据来源	径厚比 D/t	混凝土强度 f_{ck}	约束效应数 ξ	试件数量	$N_{u,c}/N_{u,e}$	
					平均值	均方差
Gardener 1968	46.7~64.6	27.0~37.1	0.57~0.98	6	1.079	0.093
Tsui et al 1991	25.4~32.7	33.4	1.41~1.81	2	1.045	0.032
Sakin&Hay 1991	19.8~58.0	22.1~45.7	0.42~3.03	12	1.103	0.097
Luksha 1991	31.4~105.8	15.0~46.0	0.33~1.3	10	1.032	0.022
Cheng et al 1988	13.7~36.67	33.2	0.91~3.39	5	0.951	0.055
Wang&Yang 1985	21.6~55.36	17.4~26.6	0.88~1.89	3	1.188	0.079
Sakino et al 1985	17.9~192.3	18.0~37.4	0.14~4.54	6	0.991	0.116
Goode 1989	22.0~31.62	30.2~48.0	0.67~1.55	4	1.064	0.041
Kilpatrick 1994	34.5~42.4	57	0.67~0.87	7	1.158	0.023
Bridge&O'she 1997	58.5~220.9	41.0~108	0.04~0.54	15	1.021	0.055
Han (letter) 1995	25.4~56.8	60.8	0.44~1.42	6	1.082	0.061
Zhong 1999	23.7~85.5	18.4~42.7	0.57~2.61	28	0.981	0.111
Uenaka et al 2003	73.7~176.3	18.7	0.27~0.09	3	0.845	0.089
Cai&jiao 1984	10.1~102	26.6~46.6	0.24~5.75	26	0.977	0.075
Cai&Gu 1985	27	28.99	1.945	3	0.871	0.024
Tang et al 1982	18.1~125	9.9~106	0.07~2.70	37	0.984	0.113
Yamanoto 2000	30.7~33.6	23.2~52.2	0.93~2.50	26	1.077	0.046
Han&Yao 2003	33.3~66.7	46.8	0.4~0.8	12	1.000	0.050
Zhong (new) 1978	24	28.6	2.72	7	0.980	0.030
总计	10.1~220.9	9.9~108	0.04~5.75	220	1.017	0.099

表1列出了钢管混凝土轴压强度承载力计算值与实验值的比较,由此表可以看出,本文强度承载力计算值与试验值符合较好。

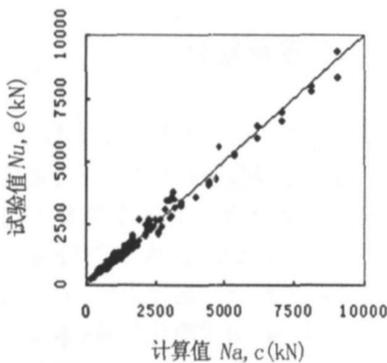


图1 承载力计算值 $N_{u,c}$ 与试验值 $N_{u,e}$ 的比较

图1给出了极限承载力计算值与试验值的比较情况,从中可以看出本文所得计算值与实验值吻合较好,本文计算方法简单,可为工程应用提供参考。

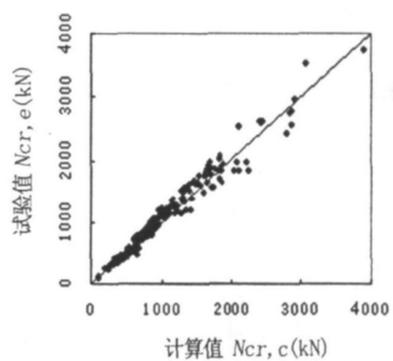


图2 稳定承载力计算值 $N_{cr,c}$ 与试验值 $N_{cr,e}$ 比较

3 轴压稳定承载力

对于圆钢管混凝土当 $\lambda > 16$ 时,构件承载力由稳定决定.根据日本 $AIJ-CFT(1997)$ 规程^[4],分别对圆钢管混凝土短柱($L/D \leq 4$)、中长柱($4 < L/D \leq 12$)、长柱($L/D > 12$)的承载力进行计算.由于长细

比 λ ($\lambda = 4L/D$) 是影响其承载力的主要因素^[3],本文从大量的实验数据(钢管混凝土实验数据库)中,计算稳定系数 $\varphi = N_{cr}/N_u$,从而回归出长细比与稳定系数间的关系,得出下面经验公式:

$$\varphi = \begin{cases} 1 & \lambda \leq 16 \\ 1 - 0.0083(\lambda - 16) & 16 < \lambda \leq 48 \\ 1.03e^{-0.007\lambda} & \lambda > 48 \end{cases} \quad (4)$$

此公式的适用范围: $D/t=7.42\sim 100; f_{ck}=10\sim 70.8; \xi=0.3\sim 12.16; \lambda=16.3\sim 206$.

因此,轴压稳定承载力可表示为:

$$N_{cr} = \varphi N_u \quad (5)$$

表 2 给出了公式(5)的计算结果与实验结果的

比值,由表 2 可以看出,本文稳定承载力的计算结果与试验结果符合较好.

图 2 给出了由公式(5)计算的稳定承载力与试验值的比较情况,从中可以看出计算值与实验值吻合较好,此计算方法简单,可为工程应用提供参考.

表 2 钢管混凝土稳定承载力计算值与试验值的比较

数据来源	径厚比 D/t	混凝土强度 f_{ck}	约束效应系数 ξ	长细比 λ	试件数量	$N_{cr,c}/N_{cr,e}$	
						平均值	均方差
Klopple 1957	7.40~52.5	20.6~30.2	1.06~12.2	34.7~83.4	38	0.969	0.098
Gardner & J 1967	29.5~48.5	21.2~41.5	0.86~2.60	31.8~79.7	8	0.946	0.078
Furlong 1967	98.32	21.4~26.3	0.54~0.66	24.0	3	1.088	0.027
Chapman & N 1966	31.8~78.1	23.4~67.2	0.30~1.50	19.3~23.4	9	0.925	0.069
Han & Yao 2000	24~37.65	23.4~43.8	0.80~2.61	19.3~154	6	1.009	0.090
Fujii 1994	18.0~66.3	24.0~37.0	0.47~4.80	29.8~96.5	27	0.985	0.124
SSRC Task gp 1975	21.9~52.8	21.1~30.0	1.02~3.44	34.7~76.4	8	0.982	0.096
Masuo et al 1991	31.8~38.2	48.4~55.9	0.94~1.45	23.9~72.4	7	1.185	0.064
Cai 1984	33.2	28.1~44.2	0.87~1.36	17.1~89.2	8	1.04	0.070
Cai & Gu 1985	27.0~33.2	28.9~42.2	0.87~1.95	17.1~206	11	0.999	0.946
Tang et al 1982	21.6~100	20.2~55.7	0.43~2.95	18.6~73.9	48	1.042	0.090
Matsui et al 1995	39.62	40.9	0.957	48.0~102	4	1.105	0.031
Gardener 1968	33.8~63.9	27.0~34.7	0.38~1.41	43.4~50.7	4	1.064	0.054
Knowles & P 1969	15.2~59.1	41.5	0.84~318	22.9~77.1	8	1.052	0.083
Ghanaman et al 2004	57.89	10.0~33.4	0.76~2.55	80	6	1.021	0.073
Han & Yao 2004	66.67	46.8	0.41	40	5	0.951	0.067
Zhong (new) 1978	20.0~84.0	21.8~54.5	0.42~3.66	16.5~60.6	38	1.027	0.116
Gu (new) 1993	22.53	70.8	1.039	16.3~41.8	3	0.983	0.152
Salari & Slims 1964	13.7~46.2	18.2~28.3	1.80~10.8	80.0~160	8	0.952	0.156
总计	7.4~100	10.0~70.8	0.30~12.16	16.3~206	249	1.012	0.106

4 结论

本文在 469 个试验数据的基础上回归了钢管混凝土轴压短柱承载力和中长柱、长柱稳定承载力的计算公式,该公式计算值与实验值的符合较好,计算公式简单,可为工程设计提供参考.

参考文献:

[1]李斌, 闻洋. 钢管混凝土轴压长柱承载力的试验研究[J]. 地震工程与工程振动, 2003, 23 (5), 130—133.
 [2]韩林海. 钢管混凝土结构——理论与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
 [3]蔡绍怀. 现代钢管混凝土结构[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
 [4]Architectural Institute of Japan (AIJ). Recommendations for Design and Construction of Concrete Filled Steel Tubular Structures. Tokyo (Japan), 1997.

The Calculation of Bearing Capacities for Concrete-filled Circular Steel Tubular Columns Subjected to Axial Compression

ZHANG Yan, ZHANG An-Ge

(School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: On the base of date analysis of a great lot tests at home and abroad, the simplified fomulas of bearing capacity for short concrete-filled steel tubular (CFST) columns subjected to axial compression are derived. In addition, the simplified fomula for the stability bearing capacity of slender CFST columns is deduced. The theoretical results agree with those of tests well. The physical concept of those fomulas is definitude. The fomula can be used as a reference for the design of engineering.

Key words: concrete-filled steel tubes; stability bearing capacity; stability ratio