

薄壁方钢管砂卵石柱偏心受压力学性能研究现状

Research Status of Eccentric Compression Mechanical Properties of Thin-walled Square Steel Pipe Sandy Gravel Column

代鑫珏 姚勇 张兆强 邓勇军

Xinjue Dai Yong Yao Zhaoqiang Zhang Yongjun Deng

西南科技大学土木工程与建筑学院, 中国·四川 绵阳 621010

School of Civil Engineering and Architecture, Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuanm, 621010, China

【摘要】钢管组合柱结构作为一种竖向承重结构,被广泛运用于建筑结构体系。本文介绍了当前钢管组合柱主要组合类型及其偏心受压的力学特点,总结了国内外钢管组合柱结构的组合方式及偏心受压力学特点,分析了最新各种钢管组合柱结构的组合方式的优缺点及偏心受压研究现状,对薄壁方钢管砂卵石柱偏心受压承载力性能研究的关键问题及未来的发展提出展望。

【Abstract】With the development of the steel structure industry, China's steel output has ranked first in the world in recent years. The steel pipe combined column structure is widely used in the vertical load-bearing system of building structures. This paper introduces the combination type of the main steel pipe composite columns and the mechanical characteristics of the eccentric compression. It summarizes the combination of the domestic and foreign steel pipe composite column structure and the eccentric compression characteristics, and analyzes the combination of the latest various steel pipe composite column structures. The advantages and disadvantages of the research and the status quo of eccentric compression are presented. The prospects of the key issues and future development of research on eccentric compression mechanical properties of thin-walled square steel pipe sandy gravel column are put forward.

【关键词】方钢管砂卵石柱;偏心受压;力学性能

【Keywords】square steel pipe sandy gravel column; eccentric compression; mechanical properties

【DOI】<https://doi.org/10.26549/gcjsygl.v3i1.1142>

1 引言

薄壁空心钢管常被用作轻钢结构中的承压构件,但回转半径和壁厚尺寸对方钢管的宽厚比有较大的影响,较大宽厚比容易导致构件局部屈曲,严重影响构件垂直承载能力,使试件极限承载力极不稳定;内填混凝土通过借助核心混凝土与管壁的相互作用,提升钢管壁的稳定性和核心混凝土的抗压强度,提高钢管壁的变形能力,构件承载力、塑性、耐火性、韧性随之改善。然而,该构件一旦到达设计基准期,由于混凝土可再生性差,不易被再利用,与国家环保节能政策有悖,故寻找一种既能满足薄壁钢管稳定承载力要求,又清洁环保的填充材料显得尤为重要;砂卵石作为一种天然的建筑材料,其分布较广,储量充足,将其作为填充材料以一定配合比加入到方钢管中,无需任何粘合剂,能直接形成薄壁砂卵石方钢管组合柱,回收方便,便于再利用;在作为竖向荷载体系时,受压杆件常出先稳定性与强度的问题。特别是,长而细的杆件失稳后,压力的微小增加将导致显著的弯曲变形,从而引起杆件承载能力的丧失,以致于整个结构的破坏。细长压杆不稳定时,

应力通常不大,损坏强度不足,而是稳定性不够。同时方钢管混凝土组合柱作为纯粹的轴压构件几乎是不存在的,大部分受压柱处于双向偏压作用,由于垂直压力与弯矩的共同作用导致构件容易失稳破坏。因此,根据构件的横截面形状、长度和约束条件、材料的性能等构件承载性能的要求,对于方钢管混凝土组合柱结构,构件长细比、偏心距、钢管壁厚以及材料压实度是方钢管组合柱结构研究的核心问题之一。钢管混凝土柱的长细比、偏心距、钢管壁厚以及材料的压实度直接影响了该组合柱的稳定性与承载力。

2 常用的钢管混凝土柱的应用及特点

2.1 常见截面形状钢管混凝土柱受压力学性能研究

目前在工程实际应用体系中,圆形、方形截面钢管是最常见的两种类型。发现圆、方钢管混凝土柱在相同条件下的进行轴压试验时,圆钢管与核心混凝土的接触压应力分布更均匀,其对核心混凝土约束更强,因此圆钢管混凝土轴压性能更好。而核心混凝土强度越大,圆、方钢管混凝土承载性能差异

越大。因此,钢管截面将直接影响轴压构件的承载性能。

为研究圆钢管混凝土偏压柱力学性能,采用相应数量的自密实混凝土偏压长柱进行偏心受压单调加载试验,结合国内钢管混凝土规范所推荐的压弯构件承载力计算方法进行相关计算,发现方钢管混凝土中长柱处于偏心受压过程中,偏心率越大,承载力越小;长细比越大,承载力越小。构件的破坏一部分为整体失稳破坏,一部分是为才材料强度破坏。结果表明,对于钢管混凝土偏压柱,偏心距、长细比是影响其承载力和稳定性的主要因素。

2.2 钢管-复合材料钢管复合柱受压力学性能研究

随着建筑垃圾的增多,业内大力提倡节能、绿色建筑,在对于钢管再生混凝土柱组合柱的运用中,其具有钢管混凝土的一系列优点:一方面是核心混凝土可增强管壁的稳定性的破坏方式类似于普通钢管混凝土组合柱;另一方面,钢管的套箍作用使芯混凝土有更高的抗压强度和可变形性。然而,在研究钢管再生混凝土偏压短柱承载力时,再生混凝土的强度和弹性模量等均低于普通混凝土,导致钢管屈服更快;其次,再生骨料和普通混凝土的表面特征与吸水特性等差异,核心混凝土的收缩率更大,导致核心混凝土与钢管之间的间隙更大,从而影响对管壁有效支撑,导致钢管更易发生屈曲,以致失稳破坏。再生混凝土取代率越大,极限荷载、弹性模量、强度越低,相应的收缩率相应增大,这表明再生混凝土的置换率是影响试件承载力的重要因素。

2.3 其他材料-钢管-复合材料组合组受压力学性能研究

为应对更复杂的工程条件,在钢管混凝土柱中加入钢筋、钢管、CFRP、FRP 复合材料等,借助钢管与上述材料的协同作用,增强两者与核心混凝土的约束作用,结合组合柱的偏压试验与有限元模拟,分析荷载-应变曲线、位移曲线等多种数据,表明其承载性能不同于普通混凝土柱;在钢管-方钢管混凝土偏心受压组合短柱的研究中发现,其损坏主要是由于钢管局部屈曲,最终影响其极限承载力;一方面,钢管能有效的提高柱子的偏压承载力,延缓混凝土裂缝的发展,提高其延性。另一方面,方钢管的宽厚比的差异,影响钢管对芯混凝土的约束能力,这又导致其承载力和延性的差异。在对 CERP-钢管混凝土结构的研究中也指出,偏压加载过程中,作为外壁的 CERP 管和内壁的钢管在环向、纵向协同工作,大大地加强了对核心混凝土的约束;随着荷载的增大,其纵向应变沿钢管截面高度符合平面假设规定,其侧向挠度随偏心距和偏心距的减小而减小;其他应用,如钢筋、复合材料-钢管、配置配螺旋箍筋混凝土柱的运用,从增强对核心混凝土的约束、组合柱的延性的提升,从而改善构件的承载力与稳定性。

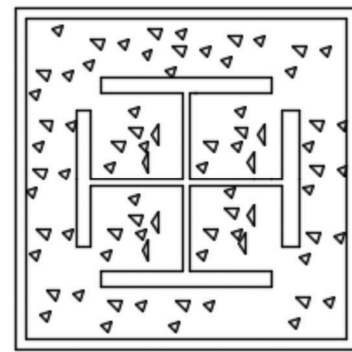


图1 钢管-钢管混凝土柱截面



图2 圆钢管混凝土柱截面

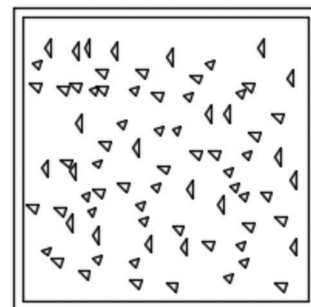


图3 方钢管混凝土柱截面

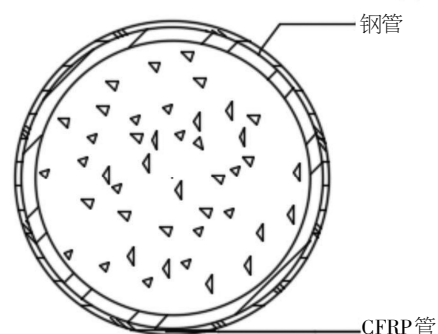


图4 CFRP-钢管混凝土柱截面

3 国内外研究现状

3.1 钢管混凝土组合柱主要类型和研究方向

中国目前数据调查显示,薄壁方钢管砂卵石柱的研究还很少,主要是对方钢管-混凝土柱的研究,因此,总结了薄壁方

钢管混凝土柱的研究现状。从过去十年对薄壁钢管混凝土柱研究来看,涉及钢管混凝土柱、型钢混凝土柱、外包钢管混凝土柱等研究,钢管组合柱类型主要集中在圆钢管混凝土组合柱、方钢管混凝土组合柱的应用,并扩展到矩形、椭圆型、多边形、异性等不同截面钢管混凝土组合柱的运用,其次是加筋钢管混凝土柱、刚骨-钢管混凝土柱、CFRP管-钢管混凝土柱等不同材料组合形式的组合柱的应用;研究方向主要集中在各类钢管混凝土轴压、偏压柱的屈曲和承载力问题。综合研究主要可以分为以下几个方面:

第一类:钢管混凝土柱稳定性与承载力问题

2010年,杜国锋,徐礼华,徐浩然,温芳^[1]等人提出偏心受压柱均为弯曲失效,长细比的变化为主要影响参数;偏心距越大,承载力减小。2017年,徐礼华,许明耀,周鹏华,刘素梅,谷雨珊,吴敏^[2]等人通过偏心受压试验,结合试件的破坏形态以及数据的理论分析,提出偏心受压试件主要发生弯曲失稳破坏。2016年,曹万林,曹红蕾,姜玮,陈桂林,张建伟,申宏权^[3]等人对比再生混凝土柱和普通混凝土柱的偏压性能试验基础上,采用ABAQUS软件进行了非线性有限元分析,研究了偏心率与延性的关系。2008年,郭建^[4]通过对不同长细比的钢管-钢骨混凝土组合柱单向偏心的力学试验,通过分析荷载-位移曲线、荷载-骨架应变曲线、承载力、位移延性等相关性质,提出当偏心率恒定时,长细比越大,构件挠度及纵向变形增大,承载力减小。2014年,陈宗平,钟铭,陈宇良,薛建阳,崔卫光^[5]等人提出型钢再生混凝土柱在大、小偏心受压和小偏心受压两种破坏形态;并分析了试件极限承载力与偏心率的关系。2009年,龚永智,张继文^[6]等人提出,当CFRP纵向钢筋与混凝土之间的黏结完好时,钢筋混凝土偏心受压柱的承载力计算理论不再适用。2003-2006年,Eiiobody^[10]与hu^[11]等人对圆钢管混凝土柱进行分析,总结了钢管直径-厚度比对结构承载力的影响规律。

第二类:屈曲问题

2012年,刘立平,李英民,夏洪流,胡艳飞,杨溥,吕晖^[7]等人提出钢骨钢管混凝土偏压柱的破坏过程中,小偏心破坏是始于近偏心受压侧的钢管受压屈服,由于混凝土膨胀导致钢管局部的屈曲现象,偏心率越大,试件的竖向承载力和延性会越低。2007年,Martin D和O'Shea^[8]以试件的长细比和宽厚比为主要变化参数,通过比较试件在具有或不具有FRP材料试件,研究了薄壁钢管柱在受压作用下屈曲性能。2017年4月,龙跃凌,万军^[9]等人在研究对方钢管混凝土偏压柱钢管的局部屈曲性能的过程中,提出当方钢管混凝土柱承受单向偏心荷载时,方钢管混凝土柱各钢板局部抗弯强度随受力状态变化,从而给出了此偏压柱在不同应力梯度系数时,屈服强度与各钢板合理的宽厚比限值的的关系。

3.2 团队内针对薄壁方钢管砂卵石柱承载力学性能已完成的研究

团队目前依托四川省科技厅科技支撑计划项目,针对薄壁方钢管砂卵石组合柱轴压性能已做了相关研究,分析了砂卵石压实度、管壁厚度、长细比等对该组合柱承载性能的影响,提出了计算组合柱轴向承载力计算公式,同时也为钢管砂卵石构件在工程实践中的运用打下了良好的基础。

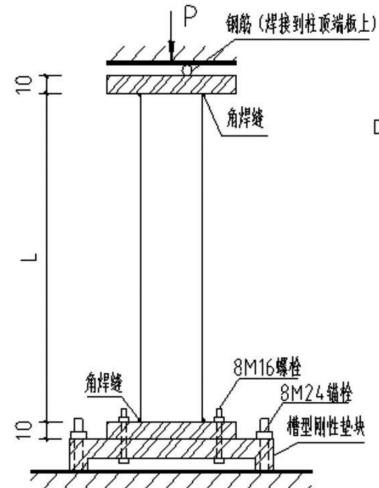


图5 轴压前期试验加载装置



图6 卵石级配筛分工具



图7 卵石连续级配



图8 轴压前期试验测量装置

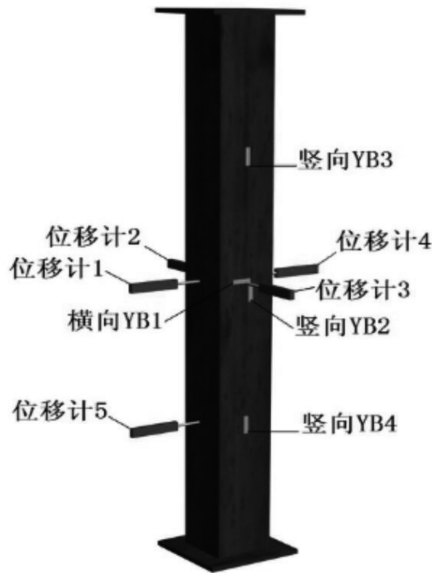


图9 轴压后期试验测量布置



图10 钢管砂卵石压实模型

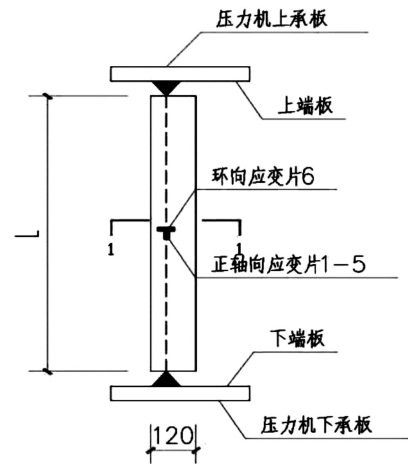


图11 偏压试验方案设计

4 国际上研究现状分析

综上所述,现阶段国际上研究都主要集中于钢管混凝土柱构件试验研究,考虑到钢管混凝土柱节能环保和经济再利用的难度,砂卵石在中国遍布充足、无需粘结剂的特点,冷弯薄壁砂卵石方钢管组合柱应运而生。然而,钢管-砂卵石柱竖向承载性能研究还比较少,有必要开展对方钢管砂卵石组合柱偏压性能的研究,便于后期的推广运用。因此,有必要针对钢管砂卵石偏心受压承载性能展开更深入的研究。

5 结语

①为进一步推进薄壁方钢管砂卵石柱的在实际工程中的应用,其在偏压工况下的稳定性与承载能力问题是保证结构安全性、可靠性的关键。

②与空心方钢管柱,方砂卵石与管壁相互作用,提升了整体的稳定性。然而,基于填充材料的压实系数和构件壁厚及长细比对其力学性能的影响较大,计算偏心受压机理和承载力不能简单移植钢管混凝土柱相关规范及计算公式。

③在团队已从事研究基础之上,针对现有方钢管砂卵石柱偏心受压时稳定性要求能更好地提出改进方法。结合该偏压组合柱试验与 pfc 数值模拟方法提出适用于方钢管砂卵石组合柱的承载力的计算公式。

参考文献

- [1]杜国锋,徐礼华,徐浩然,温芳.组合T形截面钢管混凝土柱偏心受压试验研究[J].建筑结构学报,2010,31(07):72-77.
- [2]徐礼华,许明耀,周鹏华,刘素梅,谷雨珊,吴敏.钢管自应力自密实高强混凝土柱偏心受压性能试验研究[J].工程力学,2017,34(07):166-176.
- [3]曹万林,曹红蕾,姜玮,陈桂林,张建伟,申宏权.足尺再生混凝土柱偏压受力性能计算分析[J].自然灾害学报,2016,25(03):130-136.
- [4]郭建.钢管-钢管混凝土柱单向偏心受压的试验研究[A].天津大

学.庆祝刘锡良教授八十华诞暨第八届全国现代结构工程学术研讨会论文集[C].天津大学.,2008:4.

[5]陈宗平,钟铭,陈宇良,薛建阳,崔卫光.型钢再生混凝土偏压柱受力性能试验及承载力计算[J].工程力学,2014,31(04):160-170.

[6]龚永智,张继文.CFRP 筋增强混凝土偏心受压柱受力性能的试验研究[J].土木工程学报,2009,42(10):46-52.

[7]刘立平,李英民,夏洪流,胡艳飞,杨溥,吕晖.钢骨钢管混凝土柱偏心受压力学性能试验[J].重庆大学学报,2012,35(04):52-58.

[8]Martin D. O'Shea, M. ASCE, Russell Q. Bridge, Fellow ASCE. Behavior of FRP-jacketed Circular Steel Tubes and cylindrical shells under axial compression [J]. Construction and Building Materials. 2007, 13(21): 827-838

[9]龙跃凌,万军.单向偏心受压方钢管混凝土柱局部屈曲强度的解析解[J].中国科学:技术科学,2018,48(01):87-93.

[10]Ellobody E, young, Lam D. Behaviour of normal and high strength concrete-filled compact steel tube circular stub columns[J]. Journal of Constructional Steel Research(in press).2006

[11]Hu H T,Huang C S,Wu M H.et al. Nonlinear analysis of axially loaded concrete-filled tube Columns with confinement effect[J].Journal of Structural Engineering,2003,129(10):1322-1329

基金项目

四川省科技支撑计划项目(项目编号:2011GZ0043);西南科技大学实验室开放基金项目(项目编号:13xnkf41)。