

文章编号: 1005-0523(2015)03-0086-05

酸雨环境下钢管混凝土柱轴压性能研究

陈梦成, 张凡孟, 黄 宏, 罗 晶

(华东交通大学土木建筑学院, 江西 南昌 330013)

摘要:通过通电方法对钢管混凝土试件进行加速腐蚀, 分析混凝土强度、长细比和酸雨溶液 pH 值等参数对受酸雨腐蚀后钢管混凝土柱的轴压力学性能影响, 并与未腐蚀钢管混凝土柱的轴压力学性能进行对比。分析结果表明: 钢管腐蚀会引起钢管混凝土柱的套箍系数降低, 从而导致钢管混凝土柱承载力和刚度下降, 最终影响结构的安全性; 酸雨腐蚀后钢管混凝土柱的承载力随内填混凝土的强度等级提高而增大; 随钢管混凝土短柱的长细比增大而减小。

关键词:钢管混凝土; 酸雨腐蚀; 轴压试验; 承载力

中图分类号: TU317.1

文献标志码: A

由于钢管混凝土具有承载力高、抗震性能好和施工方便等优点, 近些年来在工程实践中得到了广泛应用。然而, 随着环境的持续恶化, 酸雨现象越来越普遍, 酸雨会对钢管造成一定的腐蚀, 引起钢管混凝土构件力学性能发生劣化, 最终导致其失去承载力。

国内外学者^[1-4]对钢管混凝土的轴压性能进行了大量的理论和试验研究, 然而关于钢管混凝土在腐蚀环境下力学性能方面的研究相对较少。王大为和范颖芳^[5]研究了我国典型城市酸雨的化学组成并试验模拟研究了酸雨对受弯钢筋混凝土梁的影响。鲁军凯^[6]采用干湿交替法试验考察了酸雨对再生混凝土的影响。Hou 和 Han 等^[7]通过对方钢管混凝土短柱和梁在荷载和氯离子腐蚀同时作用下进行了有限元分析, 并得到了受酸雨腐蚀钢管混凝土构件在长期荷载作用下强度计算的简化公式。Han 等^[8]试验研究了方钢管混凝土构件在荷载和氯离子耦合作用下的力学性能变化, 并将结果与 DBJ/T13-51-2010 和 EC4-2004 等规范相对比, 比较结果表明: 这两个规范要比试验结果偏于保守, 计算结果比试验结果低了 10%~15%。田宇^[9]试验研究了尺寸对钢管混凝土轴压短柱破坏模式、承载力、横向变形系数、峰值应变、延性的影响规律。

为研究酸雨对钢管混凝土柱轴压性能的影响, 通过通电方法对钢管混凝土柱进行加速腐蚀, 将腐蚀后钢管混凝土试件轴压破坏并与未腐蚀钢管混凝土试件进行对比, 讨论参数如混凝土强度、长细比和酸雨溶液 pH 值等对钢管混凝土柱在酸雨腐蚀作用下轴压力学性能的影响, 并和未腐蚀钢管混凝土柱的轴压力学性能进行比较。

1 试验研究

1.1 试验概况

试件设计时的主要参数有: 混凝土强度等级、长细比和 pH 值。试验共进行 12 个圆钢管混凝土轴压构件, 构件试验变化参数如表 1 所示。

收稿日期: 2015-02-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(51378206, 51468017); 江西省自然科学基金项目(20143ACB20008)

作者简介: 陈梦成(1962—), 男, 教授, 博导, 主要研究方向为工程结构材料耐久性、组合结构。

表1 试验参数表
Tab.1 Test parameters

试件编号	长度/mm	宽度/mm	厚度/mm	pH	混凝土强度等级
CFST1	450	140	3	/	C40
CFST2	450	140	3	/	C50
CFST3	450	140	3	4.6	C40
CFST4	450	140	3	3.2	C40
CFST5	450	140	3	4.6	C50
CFST6	450	140	3	3.2	C50
CFST7	260	140	3	/	C40
CFST8	260	140	3	/	C50
CFST9	260	140	3	4.6	C40
CFST10	260	140	3	3.2	C40
CFST11	260	140	3	4.6	C50
CFST12	260	140	3	3.2	C50

注:CFST表示钢管混凝土。

制作钢管混凝土试验试件时,钢管采用焊缝管。制作两个厚15 mm的方形钢板作为试件两端的盖板。圆钢管切割后实际尺寸比设计尺寸多5 mm,钢管两端在机床上打磨平整。先焊接下盖板,待浇筑好混凝土后再焊接上盖板。

采用人工拌制混凝土,浇筑时将试件竖立。试件自然养护两周后用高强环氧砂浆抹平端口(配合比为:环氧树脂:固化剂:水泥:砂=1:0.5:2:2)。待环氧砂浆硬化后打磨平整,焊上上盖板。

钢片拉伸试验获得钢材的屈服极限(f_y)、抗拉强度极限(f_u)及弹性模量(E_s)分别为260.04,362.50 MPa和200 GPa。

混凝土材料性能:混凝土的立方体抗压强度 f_{cu} 由与试件同条件养护的150 mm×150 mm×150 mm立方体标准试块养护28天测得。C50混凝土的用料为水、普通硅酸盐水泥、中砂和碎石。碎石最大粒径为25 mm。混凝土配合比为水泥:水:砂:碎石=1:0.46:1.39:2.82, f_{cu} =54.96 MPa。C40混凝土的用料为水、普通硅酸盐水泥、中砂和碎石。碎石最大粒径为25 mm。配合比为水泥:水:砂:碎石=1:0.38:1.2:2.56, f_{cu} =41.02 MPa。

1.2 试验方法

1.2.1 酸雨腐蚀实验

考虑到酸雨中主要造成钢管混凝土腐蚀的离子是硫酸根,因此钢管混凝土腐蚀试验中所用酸雨用 $MgSO_4$ 、 Na_2SO_4 、 $(NH_4)_2SO_4$ 调配。每升酸雨溶液中 $MgSO_4$ 、 Na_2SO_4 、 $(NH_4)_2SO_4$ 溶剂的含量分别为0.24,0.99 g和0.13 g,pH值用 HNO_3 调试。为了加快钢管混凝土酸雨腐蚀进程,采用恒定电流控制方法,进行通电加速腐蚀,通电强度为2.8 A。

1.2.2 静力试验

静力轴压试验在华东交通大学结构试验室NYL-500型液压式试验机进行。在试验试件中段截面间隔90度分别布置4对直角应变花,用于测试加载过程中钢管中段受力和变形情况。在钢板斜对角线上布置两个百分表,用于观测试件在轴力荷载作用下的压缩位移。试验过程中通过数据采集仪进行数据采集。

试验时采用分级加载制,钢管屈服前每级荷载为预计极限荷载的1/10,当钢管屈服后每级荷载约为预计极限荷载的1/15,每级荷载的持荷时间约为2 min:3 min,试件接近破坏时慢速连续加载。应变和位

移均采用计算机数据采集系统自动采集。

1.3 实验现象与实验结果

图1给出了试件的最终的破坏形态。由图可知:钢管混凝土试件在酸雨腐蚀后轴压破坏形态和普通钢管混凝土试件的破坏形态相似,钢管产生了环向及纵向屈曲。试件加载初期,荷载与位移呈线性增长,当临近极限荷载时,荷载仍继续增加但增幅放缓,当达到极限荷载后钢管混凝土试件的承载力降低同时发生塑性变形,随后荷载下降缓慢,钢管内混凝土出现脆性破坏,最终导致钢管混凝土试件局部失稳但并没有出现断裂破坏。这是由于被压碎的混凝土将钢管产生的鼓曲空间迅速填充,钢管继续发挥对核心混凝土的约束作用,使钢管混凝土能够继续工作。对比长细比较大的两组:CFST1号3号4号和CFST2号5号6号,可见未腐蚀构件的鼓曲较靠近端部,而腐蚀后试件的鼓曲则靠近中部,这是由于在通电腐蚀过程中钢管中部的腐蚀程度要大于端部,从而导致中部钢管对混凝土的约束程度降低较大,在轴向压力作用下,随着试件的轴向位移增加,鼓曲首先在中部产生;对比长细比较小的两组:CFST7号9号10号和CFST8号11号12号,则可见试件鼓曲均靠近端部,这是由于对长细比较小的短柱而言,其端部附近的Saint-Venant效应占主导地位。

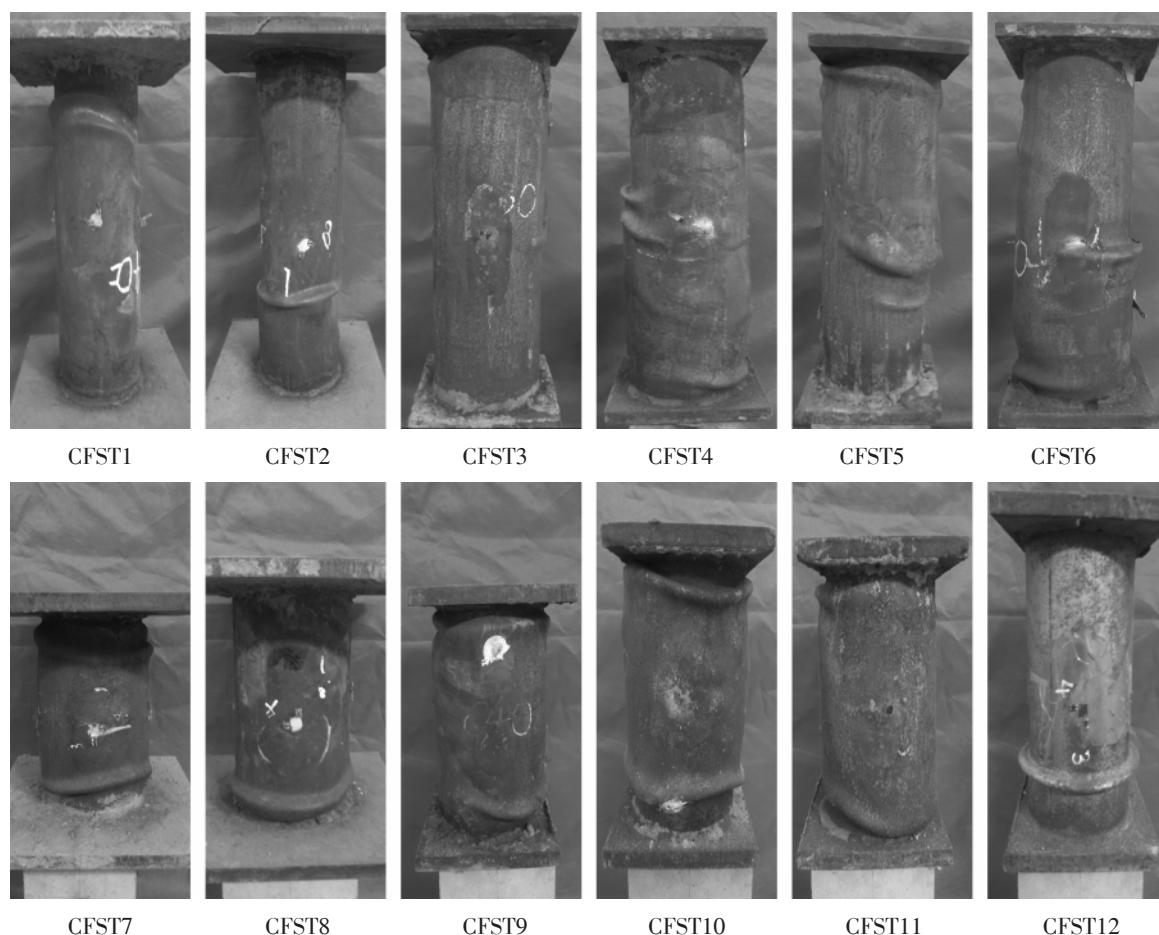


图1 试件破坏形态

Fig.1 Specimen failure modes

试验过程中,4个纵向应变的变化基本一致。图2绘出了试验获得的钢管混凝土试件的轴压力(N)~平均纵向应变(ϵ)关系曲线图。由图2可见,荷载-纵应变曲线包括3个阶段:第一阶段是纵应变随着荷载增加呈近似线性增长,且腐蚀程度越小上升幅度越大;第二阶段纵向应变增长加快,但荷载增加相对减缓;第三阶段是荷载达到极限荷载后,荷载出现下降段但纵向应变迅速变大,最终导致钢管混凝土试件局部屈

曲但并没有出现试件断裂破坏。

未腐蚀钢管混凝土构件的轴压力学性能与腐蚀后钢管普通混凝土试件的轴压力学性能存在明显差异。试验表明,pH、混凝土强度和长细比对试件的力学性能有较大影响。钢管混凝土受酸雨腐蚀时pH值取值不同,钢管混凝土试件的极限承载力值不同,承载力随着pH的降低而下降。这是由于随着pH值的降低,钢管混凝土的钢管壁的腐蚀程度增大,钢管的壁厚变薄,从而试件的套箍系数降低,钢管对核心混凝土的套箍效应变小。而且钢材的屈服强度也会降低,试件刚度减小;钢管混凝土的承载力随内填混凝土的强度等级增加而增大,随长细比的增大而减小。

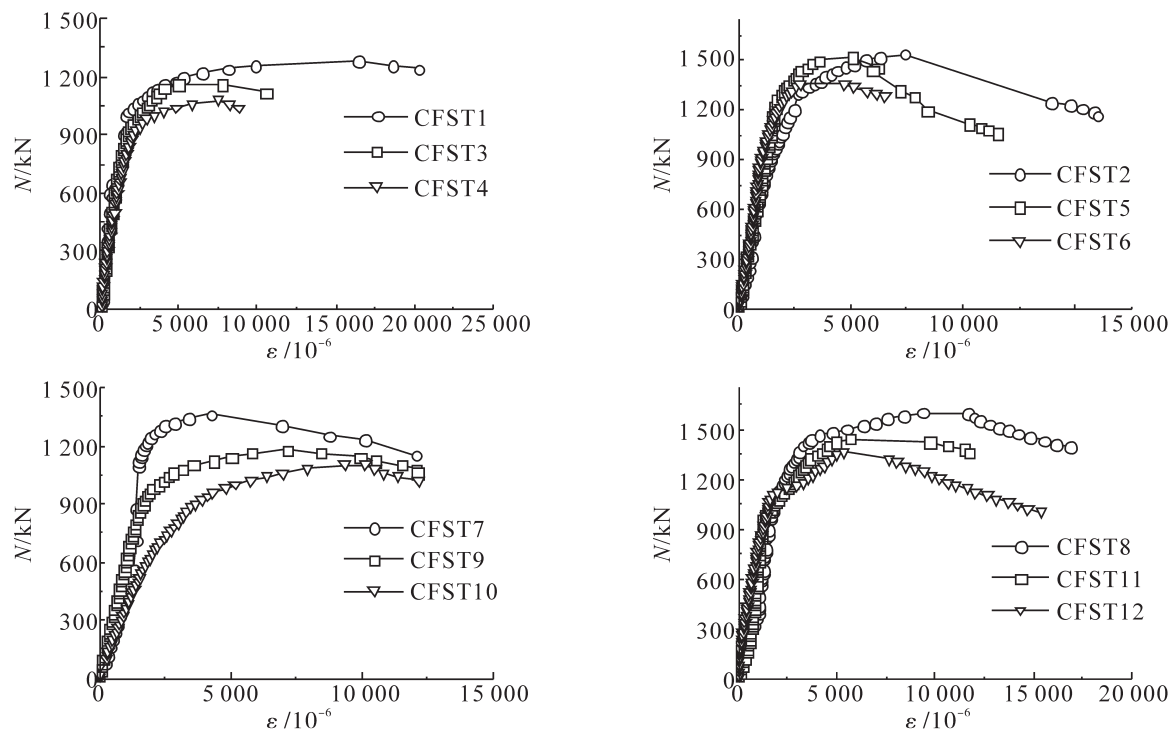


图2 试件轴力(N)~平均纵向应变(ε)图

Fig.2 Specimen axial force (N) ~ average longitudinal strain (ε) diagram

注: N 为轴向压力, ε 为平均纵向应变。

2 结论

由钢管混凝土试件在酸雨腐蚀作用下的轴压试验研究可得到以下结论:

1) 酸雨腐蚀后钢管混凝土柱的受力与变形过程和破坏形态与普通钢管混凝土柱的具有相似性。受力-变形过程分为三个阶段:第一阶段为荷载近似线性增长阶段,荷载增长较变形增长速度快;第二阶段荷载非线性增长阶段,荷载增长速度减缓,二变形增长速度加快;第三阶段荷载下降阶段,荷载下降速度较慢,变形增长速度较快。长细比较大的钢管混凝土长柱局部屈曲破坏发生在构件中部,而长细比较小的钢管混凝土短柱局部屈曲破坏发生在构件端部附件。

2) pH值、混凝土强度和长细比等参数对酸雨腐蚀后圆钢管混凝土柱的轴压荷载下承载力和刚度影响明显。钢管混凝土试件承载力随着pH的降低而下降;随内填混凝土的强度等级增加而增大;随长细比的增大而减小。

参考文献:

- [1] 丁发兴,周林超,余志武,等. 钢管混凝土轴压短柱非线性有限元分析[J]. 中国科技论文在线,2009,4(7):472-479.
- [2] 黄宏,张安哥,李毅,等. 带肋方钢管混凝土轴压短柱试验研究及有限元分析[J]. 建筑结构学报,2011,32(2):75-82.
- [3] YANG, Y F,HAN L H. Compressive and flexural behavior of recycled aggregate concrete filled steel tubes(RACFST) under short-term loadings[J]. Steel and Composite Structures,2006,6(3):257- 284.
- [4] 黄宏,李婷,陈梦成. 方中空夹层钢管混凝土压弯扭构件数值模拟[J]. 华东交通大学学报,2013,30(4):24-29.
- [5] 范颖芳,王大为,栾海洋. 模拟酸沉降环境混凝土梁承载性能研究[J]. 工程力学,2014,31(4):147-154,177.
- [6] 鲁军凯,查晓雄. 钢管再生混凝土的抗冻耐久性研究[J]. 建筑钢结构进展,2012,14(3):53-59.
- [7] HOU C,HAN L H,ZHAO X L. Full-range analysis on square CFST stub columns and beams under loading and chloride corrosion [J]. Thin-Walled Structures,2013,68:50-64.
- [8] HAN L H,HOU C,WANG Q L. Square concrete filled steel tubular (CFST) members under loading and chloride corrosion: Experiments[J]. Journal of Constructional Steel Research,2011,71:11-25.
- [9] 田宇. 圆钢管混凝土短柱轴压性能尺寸效应试验研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2014.

Research on Axial Compression Performance of Concrete-filled Steel Tubular Columns under Acid Rain

Chen Mengcheng, Zhang Fanmeng, Huang Hong, Luo Jing

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

Abstract: By laboratory accelerated corrosion tests and the electrochemical method, this study analyzes influences of concrete strength, slenderness ratio and the acid rain solution pH value on the axial compression performance of concrete-filled steel tubular columns under acid rain corrosion, and then compares with that of uncorroded concrete-filled steel tubular columns. Experimental results show that the decrease of confinement coefficient caused by steel tube corrosion leads to the decline of the column bearing capacity and its stiffness, impacting its structural safety. The bearing capacity of concrete-filled steel tubes under acid rain corrosion increases with the increase of internal concrete strength grade but decreases with the increasing slenderness ratio.

Key words: concrete filled steel tube; acid rain corrosion; axial compression experiment; bearing capacity

(责任编辑 王建华)