

文章编号: 1001-4888(2013)04-0536-06

锈蚀 H 型钢偏心受压承载性能试验研究^{*}

徐善华, 邱斌

(西安建筑科技大学 土木工程学院, 陕西西安 710055)

摘要:通过锈蚀 H 型钢构件的偏心受压试验, 研究锈蚀对 H 型钢构件偏压承载能力的影响, 并为工程师提供锈蚀 H 型钢构件偏心受压承载能力的试验数据。试验采用 5 根锈蚀 H 型钢, 2 根未锈蚀构件作为对比试验, 分别对受拉翼缘、受压翼缘和腹板的锈蚀对 H 型钢构件偏心受压承载能力的影响进行了详细探究, 得出翼缘的锈蚀对钢构件偏压承载能力的影响较腹板显著, 其中受压翼缘比受拉翼缘影响更甚。锈蚀对钢材力学性能的影响也在文中进行了试验研究, 结果表明: 钢材的锈蚀对其屈服强度和极限强度无显著影响, 但显著影响钢材塑性性能。

关键词:锈蚀; 钢结构; 偏心受压; 承载性能

中图分类号: TU

文献标识码: A

DOI: 10.7520/1001-4888-12-125

0 引言

钢结构在服役期间由于遭受各种不同环境的作用, 不可避免地将发生不同程度的锈蚀, 锈蚀从几何尺寸和材料性能两方面直接影响结构及构件的各项性能。因此, 需要全面掌握锈蚀对钢结构及构件各项性能的影响, 以便对锈蚀钢结构及构件及时采取合适的措施以保证结构的安全使用。

文献[1]和文献[2]分别通过自然大气环境下锈蚀槽钢和锈蚀 H 型钢的偏压承载能力试验, 详细探讨了锈蚀对构件偏压承载能力的影响。文献[3]给出锈蚀钢构件最小承载能力随翼缘厚度损失百分比的曲线关系。文献[4]通过多根电化学锈蚀下锈蚀角钢的抗压承载性能试验, 详细探讨了锈蚀对角钢构件抗压承载能力的影响。

总体而言, 目前针对锈蚀钢构件残余承载性能的研究成果较少, 并且其研究成果无法很好地推广至工程应用, 仍需要开展大量相关研究以便掌握锈蚀对钢结构及构件承载性能的影响, 并对实际工程起到指导作用。

本文对 2 根未锈蚀和 5 根锈蚀 H 型钢构件进行偏心受压试验, 分别讨论了受拉翼缘、受压翼缘和腹板的锈蚀对锈蚀 H 型钢构件偏压承载能力的影响, 为锈蚀 H 型钢偏压承载性能的进一步研究提供了试验参考数据。

1 试验方案

试验材料为 Q235 钢, 采用质量损失率表征试件的锈蚀程度, 即利用试件锈蚀前后的重量差与锈蚀前试件质量百分比表征试件的锈蚀程度, 翼缘和腹板的锈蚀率分别测试并记录。

1.1 加速锈蚀试验

根据文献[5]和文献[6]可知, 中性盐雾或喷淋的方法既可以快速锈蚀又有很好的重现性。故本次

^{*} 收稿日期: 2012-09-27; 修订日期: 2012-12-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(50778151), 国家自然科学基金项目(51078307), 陕西省教育厅科研计划项目(07JK300), “长江学者和创新团队发展计划资助”

通讯作者: 邱斌(1984—), 男, 博士研究生。研究方向: 工程结构抗震, 结构耐久性。E-mail: qiubin840425@gmail.com

试验的所有试件均暴露于自然大气环境,采用定期均匀喷洒体积比为 18% 的盐雾以加快锈蚀。

为确保试件两侧翼缘和腹板的锈蚀状况一致,每个试件的翼缘均与地面垂直放置并用木垫支起,以防止地面积水造成翼缘离地一侧的额外锈蚀;试件定期翻转以保证腹板两面锈蚀状况保持一致,锈蚀期约 2 年。

1.2 材性试验及试件制备

为了能准确获得每根锈蚀 H 型钢构件的锈蚀状况,从每根 H 型钢构件一端切割总长度为 400mm 的构件,然后在此构件的翼缘和腹板上分别切割出部分小试件进行材性试验时间的制作及锈蚀率的测量。

由于整个构件所处大气环境相同,而且通过严格控制喷雾操作,因此可以认为所切割部分的锈蚀程度和材料力学性能可以代表整个 H 型钢试件的锈蚀程度及材料力学性能。

依据《金属拉伸试验试样》(GB6397—86)和《金属拉伸试验方法》(GB228—87)的有关规定制作材性试验的试件,并严格按照《中华人民共和国国际标准金属材料室温试验拉伸方法》(GBT228—2002)相关规定在西安建筑科技大学力学实验室电液伺服万能试验机(型号 CSS-WAW300DL)上进行材性试验。

1.3 偏压试验试件制备

偏压承载力试验试件分为 2 组,一组包含 5 根锈蚀 H 型钢构件,另一组 2 根同材质的未锈蚀 H 型钢构件,用作对比试验。两组试件均为 1600mm 长热轧 H 型钢(HW125×125×6.5×9)。

为减少试验误差及满足加载要求,所有试件两端均焊接端板与加劲肋,端板与加劲肋尺寸分别为 20mm×250mm×250mm 和 10mm×150mm×50mm。端板厚度较厚,用以避免施焊产生变形,保证钢板表面的平整,降低因试件两端不平整而形成的误差。采用 E43 型焊条手工焊接,焊缝为 10mm 直角焊缝,焊脚尺寸和焊缝长度均满足强度要求。

1.4 偏压试验装置

试验装置采用西安建筑科技大学土木工程学院实验室的 YE-200A 压力试验机,该试验机最大量程 2000kN,精度 $\leq \pm 1\%$,两立柱间跨度为 580mm,上下压板间有效高度 5000mm。

本次试验为单项偏心偏压试验,偏心距约为 58mm,即加载点为受压翼缘中心线处,采用单刀刀口铰加载,在弯曲平面内(即与加载点所在坐标轴垂直的平面)试件的跨中设置一个位移计用以实时测量跨中位移,如图 1(a)(b)所示,试件两端铰接约束,即试件上端仅限制水平向位移而下端限制水平与竖向位移,两端均不限制转动。每个构件跨中上下翼缘处沿纵向分别贴 3 片应变片,共计 6 个应变片。



图 1 单向压弯试件试验装置

Fig. 1 The experimental set-up for eccentric compression test

位移计采用量程为 100mm 的电子位移计。应变片采用河北省邢台金力传感元件厂制造的型号为 BX120-5AA, 规格为 $5\text{mm} \times 3\text{mm}$ 的应变片, 应变片电阻值为 $120\Omega \pm 0.1\%$, 灵敏系数为 $2.12 \pm 1.3\%$ 。黏贴应变片处先用打磨机磨平, 再用砂纸进行人工仔细打磨, 然后用丙酮擦拭, 最后用 502 胶黏贴于试件上。试验中各项数据通过函数仪 TDS-602 静态数据采集系统自动采集。

2 试验结果

2.1 材性试验结果分析

图 2 和图 3 分别为锈蚀前后 H 型钢翼缘和腹板的应力—应变曲线(篇幅所限, 文中仅给出受压翼缘与腹板的应力—应变曲线), 曲线变化规律与文献[7]所得规律吻合。

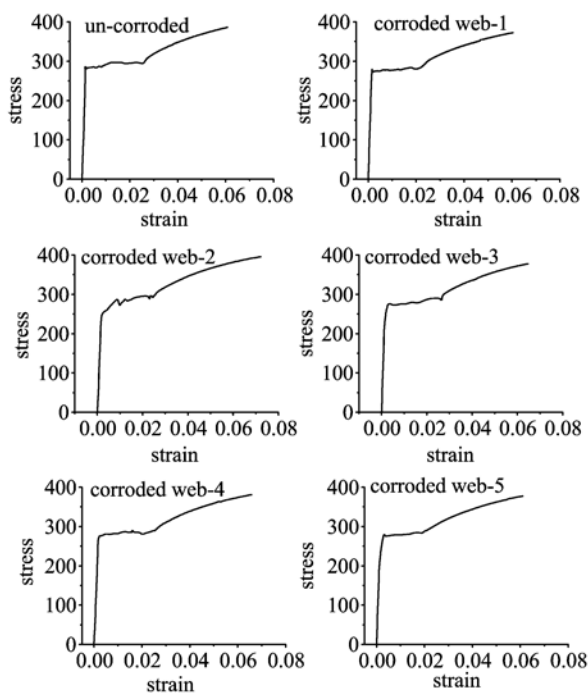


图 2 腹板钢材锈蚀前后应力—应变曲线

Fig. 2 Stress-strain curves for un-corroded and corroded steel webs

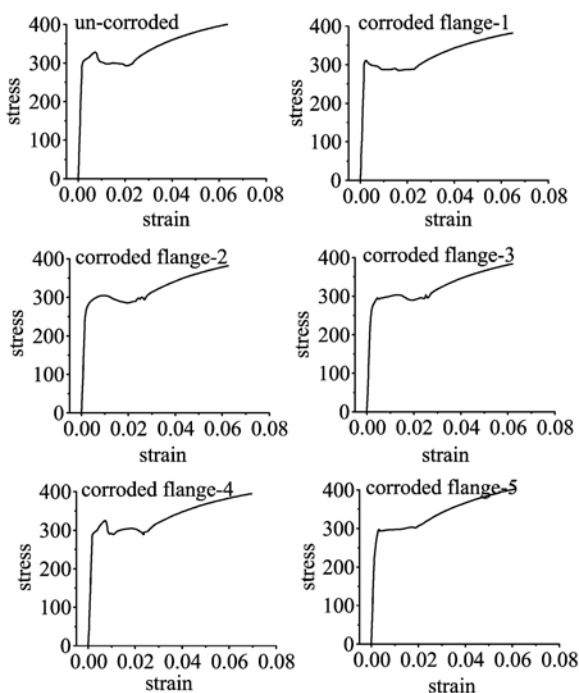


图 3 翼缘钢材锈蚀前后应力—应变曲线

Fig. 3 Stress-strain curves for un-corroded and corroded steel flanges

图 2 和图 3 应力—应变曲线的下降段数据在试验中未测, 仅关注了屈服强度和极限强度。

从图 2 和图 3 可以得到下面几条结论:

(1) 材料处在弹性阶段时, 腹板和翼缘锈蚀前后的应力—应变规律差异不大, 材料处在弹塑性阶段时锈蚀前后就呈现出不同的应力—应变规律。

(2) 钢材在锈蚀前后其屈服强度和极限强度几乎一致, 保持在一个小的波动范围内, 分析其波动原因: 一方面由于在进行试验过程中引入的系统误差所致, 另一方面由于试件锈蚀后使其表面强度降低, 从而在材性试验过程中屈服强度测量时引入误差。

(3) 对某些锈蚀严重的试件而言, 钢材在锈蚀后的屈服平台变短甚至消失。文献[7]指出是由于试件锈蚀后锈坑的存在导致试件横截面积沿着试件的长度方向发生连续变化, 锈坑处的应力集中较为严重, 显著影响了试件本身的延性, 反映在材料性能上就是屈服平台变短甚至消失。

(4) 虽然钢材锈蚀后其屈服平台会变短甚至消失, 但是其极限应变和未锈蚀钢材的极限应变同样相差无几。

2.2 偏压试验结果分析

实验开始前所有仪器必须进行校准, 试验中分级施加荷载, 每级荷载约为构件预计承载力的 $1/10$,

加载到 7 级或 8 级后,每级荷载降为预计承载力的 1/20,直到试验结束。锈蚀及偏压试验结果见表 1。

以 2 根未锈蚀构件偏心受压承载能力平均值表征本次试验中未锈蚀构件偏心受压承载能力,该平均值为 389.42MPa。

表 1 锈蚀及偏压试验结果

Tab. 1 The results of the corrosion process and eccentric compression tests

试件编号		1	2	3	4	5	W1	W2
锈 蚀 率	受压翼缘	7.11%	7.67%	9.93%	6.49%	6.62%	0%	0%
	受拉翼缘	6.26%	7.04%	10.51%	10.35%	7.67%	0%	0%
	腹板	8.00%	8.01%	12.63%	7.81%	9.69%	0%	0%
偏压强度(kN)		359.60	353.04	351.14	364.49	362.67	390.38	388.46

注:表中 W 表示未锈蚀构件。

图 4 所示为锈蚀率与构件偏心受压承载能力关系图(包括锈蚀构件与未锈蚀构件承载能力)。从图中可以发现 H 型钢构件偏压承载能力随着构件锈蚀率的增加呈现递减趋势,并且其递减趋势与受压翼缘锈蚀率的增加几乎成线性关系,而与受拉翼缘及腹板锈蚀率的增加间的线性关系则不显著。

从图中同样可以看出,相同承载力下,翼缘的锈蚀对 H 型钢构件承载能力的影响比腹板锈蚀更直接,而两翼缘的锈蚀对其承载能力的影响几乎相同。

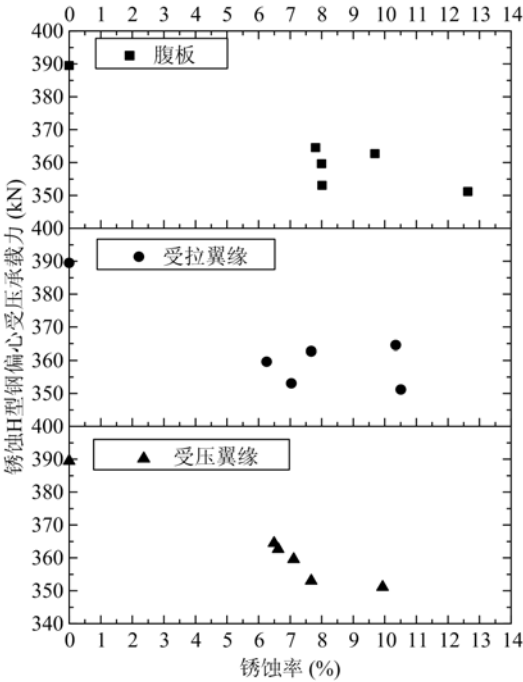


图 4 承载力随锈蚀率变化散点图

Fig. 4 The results of the tests in terms of corrosion ratio and eccentric compression strength

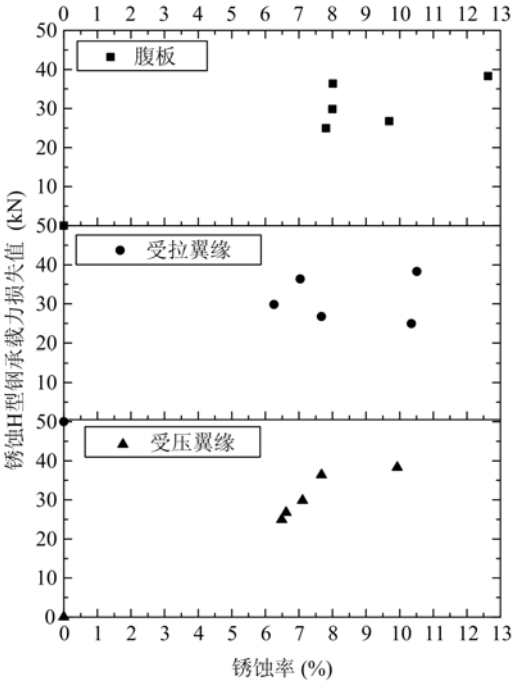


图 5 承载力损失值随锈蚀率变化散点图

Fig. 5 The results of the tests in terms of corrosion ratio and eccentric compression strength loss

图 5 所示为锈蚀率与构件承载能力损失值关系图(包括锈蚀构件与未锈蚀构件承载能力损失值)。从图中可以发现 H 型钢构件偏压承载能力损失值随着锈蚀率的增加呈现递增趋势,并且其递增趋势与受压翼缘锈蚀率的增加几乎成线性关系,而与受拉翼缘及腹板锈蚀的增加间的线性关系则不显著。

同样可以发现,相同承载力损失值下,翼缘的锈蚀对 H 型钢构件承载能力损失的影响比腹板锈蚀更直接,而两翼缘的锈蚀对其承载力损失值的影响几乎相同。

通过图 4 和图 5 可以得出翼缘的锈蚀比腹板锈蚀对构件承载能力的影响显著,其中受压翼缘的锈

蚀对构件的承载能力相比受拉翼缘而言影响更加显著。分析其原因如下:

对于未锈蚀的热轧型钢,从轧制条件而言,同一根热轧型钢的不同部分,因压轧条件的不同,机械性能也会有差别。对于工字型钢而言,在辊轧成型时,腹板所受压力大于翼缘,翼缘所受压力和它内侧的斜度有关。压力不同,其结果是翼缘和腹板在组织上有差别,机械性能随之也有差别:腹板的性能优于翼缘。但是工字钢作为受弯构件时,翼缘的应力大于腹板,承载能力主要取决于翼缘的性能。宽翼缘工字钢(H 型钢)的翼缘内侧没有坡度,情况比普通工字型钢好得多。但是由于翼缘与腹板厚度的不同,翼缘和腹板的性能依然有差别^[8]。从受力方面而言,工字型钢包括 H 型钢构件的腹板对梁抵抗弯矩不能充分发挥作用^[8]。

因此可知,工字型钢包括 H 型钢构件在作为受弯构件时,其翼缘比腹板对承载能力的影响更加直接显著。

偏心受压状态又可以分解成是轴心受压与受弯两种复合受力状态。受弯时,构件承载能力主要取决于构件翼缘的性能^[8],此时受拉翼缘和受压翼缘分别承受拉应力和压应力;轴心受压时,构件全截面共同承担压应力,即翼缘和腹板在轴心受压时对承载能力的贡献相同。

轴心受压与受弯复合受力状态下,受压翼缘中压应力叠加使得受压翼缘的压应力进一步增大,而受拉翼缘中为压应力和拉应力的叠加,轴心受压状态下产生的压应力会抵消部分因受弯而产生的拉应力,即因轴心受压而产生的压应力对受拉翼缘具有有利的作用,而对受压翼缘具有不利的影响。

由于构件锈蚀后表面锈坑的存在会产生不同程度的应力集中,使得构件表面强度降低,特别是对应力较大的受压翼缘,应力集中对其表面强度的影响也更加显著,因此翼缘的锈蚀比腹板锈蚀对构件承载能力的影响显著,受压翼缘的锈蚀对构件的承载能力相比受拉翼缘而言影响更显著。

图 6 和图 7 分别为偏压承载能力和偏压承载能力损失值与受压翼缘锈蚀率间的线性拟合图。从图中可知,试验点虽不能严格的落在拟合直线上,但是均匀分布于直线两侧,并且偏压承载能力和偏压承载能力损失值与受压翼缘锈蚀率均能较好的服从线性关系。

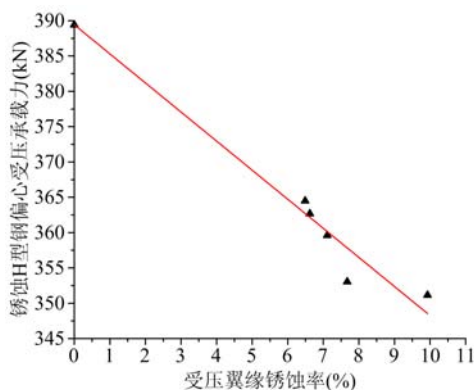


图 6 承载能力与锈蚀率线性拟合图

Fig. 6 The linear fit of eccentric compression strength to corrosion ratio of compression flange

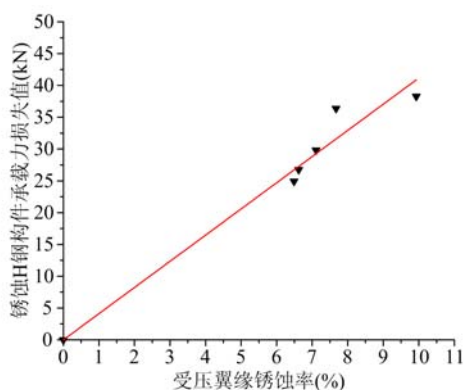


图 7 承载力损失与锈蚀率线性拟合图

Fig. 7 The linear fit of eccentric compression strength loss to corrosion ratio of compression flange

3 主要结论

本次单向偏压试验共采用 7 根 H 型钢构件,其中 5 根锈蚀构件,2 根未锈蚀构件用作对比试验,通过本次材性试验和单项偏压试验可以得出以下结论:

1) 钢材的锈蚀对钢材屈服强度、极限强度和极限应变无显著影响,但使得钢材的屈服平台产生显著变化,使得钢材的塑性性能降低。

2) 锈蚀的发生将显著降低钢结构构件的偏心受压承载能力,当受压翼缘的锈蚀率从 6.49%~9.93%,相应的受拉翼缘锈蚀率从 6.26%~10.51%以及腹板锈蚀率介于 7.81%~12.63%之间时,锈蚀 H 型钢构件与未锈蚀构件相比,其承载力损失在 7.81%~12.63%之间。

3) 翼缘的锈蚀比腹板锈蚀对 H 型钢构件偏心受压承载能力的影响显著, 其中受压翼缘的锈蚀对构件的偏心受压承载能力相比受拉翼缘而言影响更加显著。

4) 随着受压翼缘锈蚀率的增加, H 型钢构件的偏心受压承载能力随之线性递减, 但与受拉翼缘及腹板锈蚀率的增加间的线性关系则不显著。

5) H 型钢构件偏心受压承载能力损失值与受压翼缘锈蚀率的增长呈显著的线性递增关系, 但与受拉翼缘及腹板锈蚀率的增加间的线性关系则不显著。

参考文献:

- [1] 白烨. 锈蚀槽钢受弯性能试验研究与理论分析[D]. 西安建筑科技大学, 2009 (BAI Ye. Experimental Study and Theoretical Analysis on the Bending Behavior of the Corroded Channel steel[D]. Xi'an University of Architecture and Technology, 2009(in Chinese))
- [2] 潘典书. 锈蚀 H 型钢构件受弯承载性能研究[D]. 西安建筑科技大学, 2009 (PAN Dianshu. Corrosion of H-steel components bending load performance[D]. Xi'an University of Architecture and Technology, 2009(in Chinese))
- [3] Sarveswaran V, Smith J W. Structural assessment of corrosion-damaged steel beams using minimum capacity curves [J]. Struct Eng, 1999, 77:17—23.
- [4] Beaulieu L V, Legeron F, Langlois S. Compression strength of corroded steel angle members[J]. Journal of Constructional Steel Research, 2010, 66:1366—1373.
- [5] 牟献良, 田月娥, 汪学华. 碳钢和低合金钢模拟和加速试验和大气腐蚀试验相关性[J]. 环境技术, 2001, 4:14—17(MOU Xianliang, TIAN Yuee, WANG Xuehua. The Relativity of the Simulated Accelerated Test of Carbon Steel and Low Alloy Steel and Atmospheric Corrosion Test[J]. Environmental Technology, 2001, 4:14—17(in Chinese))
- [6] 孙志华, 李金桂, 李牧铮. 碳钢大气腐蚀加速试验研究[J]. 材料工程, 1996, 7: 26—27(Sun Zhihua, Li Jingui, Li Muzheng. Investigation on Atomspheric Corrosion Accelerated-Test of carbon Steel[J]. Journal of Materials Engineering, 1996, 7:26—27(in Chinese))
- [7] Micheal B, Seyed M Z. Effect of severe corrosion on cyclic ductility of steel[J]. Journal of Structural Engineering, 1997, 9:1478—1486.
- [8] 陈绍蕃. 钢结构设计原理(第三版)[M]. 北京:科学出版社, 2005 (CHEN Shaofan. Principles of Steel Structure Design(Third edition)[M]. Beijing:Sciences Press, 2005(in Chinese))

Experimental Study of Bearing Performance of Corroded H-Type Steel Member Subjected to Eccentric Compression

XU Shan-hua, QIU Bin

(School of Civil Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: This paper is aimed at experimental study of the effect of corrosion on the bearing performance of H-type steel member subjected to eccentric compression and providing experimental data for engineers. In experiments, 5 H-type corroded steel members were adopted, 2 H-type no rusted steel members were adopted as contrast. The effect of corrosion appeared at tension flange, compression flange and web respectively on the bearing performance of corroded H-type steel member subjected to eccentric compression was experimentally detailed explored. Results show that the corrosion at flange has marked effect on bearing performance of corroded steel H-type steel member subjected to eccentric compression, among which, corrosion at compression flange has more obvious effect than that of corrosion at tension flange. The effect of corrosion on steel material performance is also experimentally studied.

Keywords: corrosion; steel structure; eccentric compression testing; bearing performance