

钢-混凝土连接锈蚀栓钉力学性能试验研究

冯俊辉,袁艺博

(许昌职业技术学院建筑工程学院,河南省许昌市,461000)

摘要 本文研究钢-混凝土连接锈蚀栓钉在长期荷载作用下的变化,经过200d测试后,再分析栓钉连接件卸载之后发生的静力性能改变情况。研究结果表明:当荷载升高后,栓钉应变不会持续增加;栓钉在初期阶段受到压力作用,当荷载不断增大后将会使栓钉逐渐受到拉应力作用,最终发生破坏。栓钉将先发生受压,之后再受拉。当栓钉发生锈蚀后,将会引起极限承载强度的下降,总体下降幅度介于5%~15%之间;而当锈蚀率上升后,承载力将会发生明显下降。

关键词 钢-混凝土;力学性能;栓钉锈蚀;荷载

中图分类号:TU398 文献标识码:B

文章编号:1008-0899(2026)10-0007-02

在建筑工程领域,混凝土与钢材属于两种广泛使用的常规材料,单独使用这两种材料时面临着物理与力学性能方面的众多劣势,从而明显限制材料强度的发挥^[1]。混凝土的拉伸强度较低,容易形成许多裂纹,而钢材在使用过程中则较易发生锈蚀现象,使其稳定性明显降低^[2]。

与混凝土结构相比,组合结构可以实现重量轻、抗震性能好以及良好的结构延性等多种优势,相比于单一的钢结构可以达到更高的刚度、稳定性,从而明显减少钢材的用量^[3]。受上述各项因素的影响,国内建筑领域广泛使用钢-混凝土的组合结构。很少研究栓钉发生锈蚀情况下的剪力连接件所能承受的变形程度与抗剪力,特别是对连接件进行长期力学性能研究方面的工作开展较少^[4]。考虑到组合结构处于实际运营状态时将会受到多种不同类型的荷载作用,经过200d测试后再分析栓钉连接件卸载之后发生的静力性能改变情况。

1 试验

1.1 试件制作

本试验总共测试了Q1~Q8的8个栓钉连接件,

基金项目:许昌市重点研发与推广专项(科技攻关)项目(2026053)

作者简介:冯俊辉(1992~),男,河南郑州人,硕士,助教,研究方向:土木建筑工程。

见表1。试件几何尺寸及构造见图1。选择Q235B工字钢作为钢梁材料,纵向截面的配筋率是0.75%,横向是0.8%,符合最低配筋率的要求。当试件的制作过程结束后,先对其长期加载,再对连接件栓钉施加电流使其发生快速锈蚀^[5]。试件需承受的长期荷载为220kN。

表1 锈蚀栓钉静载破坏设计

参数	电流密度/ $10^{-2}\text{mA}\cdot\text{cm}^{-2}$	预计锈蚀率 /%	加载
Q1	0	0	长期加载
Q2	3.26	5	长期加载
Q3	5.86	10	长期加载
Q4	10.05	15	长期加载
Q5	16.12	20	无载荷
Q6	0	0	无载荷

在试验开始前需先测试材料的力学性能参数。从表2中可以看到对混凝土进行力学性能测试得到的各项指标。选择测试材料尺寸为20mm×100mm。表3给出了对栓钉(尺寸16mm×100mm)、H钢(尺寸300mm×300mm)与钢筋(尺寸 ϕ 10mm)进行拉伸测试得到的各项力学性能指标。

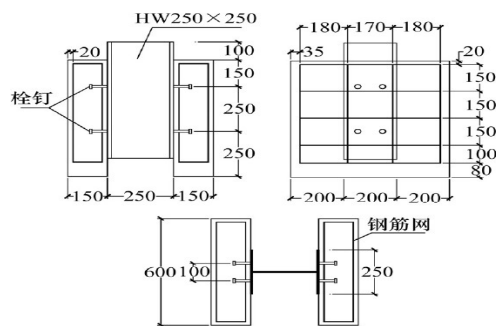


图1 试件几何尺寸及构造

表2 实测混凝土主要力学性能指标

参数	轴心抗压 强度/MPa	立方体抗压 强度/MPa	弹性模量 /10 ⁵ MPa	养护 时间/d
取值	28.36	36.25	0.22	24

表3 材料性能

材料	屈服强度/ MPa	极限强度/ MPa	延伸率 /%	弹性模量/ 10 ⁵ MPa
螺钉	420.2	481.2	35.2	2.20
H型钢	326.5	400.5	50.8	1.82
钢筋	488.5	426.5	8.26	1.85

1.2 试验测量

采用2 000kN万能试验机对连接件开展了推出试验。在加载开始前,首先为加载平台的翼缘板边缘区域铺设一定厚度的细砂,由此消除摩擦力并使试件能够处于均匀受力状态。再把连接件固定于细砂中,保持和压力试验机相对的位置,确保传力钢板、试件、压力试验机的底座中心线处于相同的垂直线上。为提高数据采集过程的稳定性,应将各级荷载的持续时间保持在5min以内,等仪表测试数据到达稳定之后再读取测试数据。

制作试件期间,将两个钢弦型应变计预埋到混凝土翼缘板的栓钉所在部位,在加载试件时,对每次荷载加载之后的数据都进行一次混凝土应变数据的记录。测试混凝土和钢梁之间产生的相对滑移量。根据试件加载阶段测试得到的数据,绘制形成连接件对应的荷载-滑移曲线。

2 结果分析

2.1 栓钉应变分析

在栓钉受力区域,混凝土应变较边缘部位更为显著。不同荷载等级下的应变记录显示,栓钉应变并非随荷载持续增加,而是先受压后受拉,最终破坏。这一变化机理为:初期栓钉与混凝土协同工作,形成整体受压状态;荷载增大后,二者共同受压变形;接近破坏时,栓钉大头端产生拉拔力,导致栓钉内部拉应力显著增长。

2.2 抗剪承载力

完成加载测试以后,取出锈蚀试件,对其表面进行酸洗除锈再测定外径,以测试得到的栓钉平均锈蚀率作为试件的实际锈蚀率,表4给出了每个试件能够承受的破坏荷载及其测试得到的实际锈蚀数据。以质量锈蚀率作为栓钉锈蚀率的衡量标准,

因此需要测试栓钉锈蚀之前与之后两种情况下的质量,对各位位置分别从互相垂直方向上进行测试,从而确保可以获得准确的计算结果。

表4 试件抗剪承载力及实际锈蚀率

编号	破坏荷载 /kN	抗剪承载力 /kN	锈蚀率 /%	P _{sc}
Q1	672	84.26	4.35	0.93
Q2	668	81.68	6.82	0.91
Q3	653	80.08	10.38	0.88
Q4	632	78.34	13.26	0.87
Q5	615	77.85	14.84	0.85
Q6	608	76.28	15.86	0.85

从表4中可以看到,当栓钉发生锈蚀之后,将会引起极限承载强度的下降,总体下降幅度介于5%~15%之间。如果栓钉只发生少量的锈蚀,则试件降低的极限承载力很小;而当锈蚀率上升后,承载力将会随之发生更加明显的下降。

在很小的锈蚀率情况下,会产生较大的相对影响,栓钉的锈蚀将会引起试件承载力的明显下降。栓钉的反向受压面将会和周围的混凝土形成紧密的结合,可以提高试件抵抗腐蚀溶液的侵蚀能力,从而降低栓钉的锈蚀程度。

3 结语

开展钢-混凝土连接锈蚀栓钉力学性能试验研究,取得如下有益结果:当荷载升高后,栓钉应变并不会持续增加;栓钉在初期阶段受到压力作用,当荷载不断增大后将会使栓钉逐渐受到拉应力作用。当栓钉发生锈蚀之后,将会引起极限承载强度的下降,总体下降幅度介于5%~15%之间。

参考文献

- [1] 匡亚川,彭志威,蔡航航,等.加速锈蚀下栓钉剪力连接件的疲劳性能试验研究[J].铁道科学与工程学报,2024,21(11):4702-4710.
- [2] 肖林,黄雅茜,卫星,等.钢-混组合桥梁栓钉腐蚀疲劳失效及力学性能退化机理试验研究[J].中国铁道科学,2024,45(02):48-58.
- [3] 王亮,魏欢博,高亚杰,等.不同锈蚀程度下栓钉连接件的抗剪性能分析[J].深圳大学学报(理工版),2024,41(01):58-65.
- [4] 肖林,魏欢博,卫星,等.钢混组合梁栓钉锈胀下混凝土板开裂行为数值分析[J].吉林大学学报(工学版),2024,54(07):1958-1965.
- [5] 曹国辉,曹一青,周超,等.栓钉锈蚀后钢-混凝土组合梁抗弯性能试验研究[J].铁道学报,2022,44(11):129-135.