

文章编号:2095-7386(2021)03-0104-05

DOI:10.3969/j.issn.2095-7386.2021.03.018

预制装配式楼梯静载试验研究

魏靖,刘杰胜,张传成,朱博涛,吴长青
(武汉轻工大学 土木工程与建筑学院,武汉 430023)

摘要:基于静力加载试验,对配筋率相同,钢筋直径与间距不同的两个预制钢筋混凝土楼梯 J-1 和 J-2 的结构性能特性进行了研究。试验结果表明:在正常使用极限状态和承载力极限状态加载条件下,两个楼梯均满足规范要求;在相同的加载荷载的条件下,大直径、大间距钢筋的挠度大于小直径、小间距的挠度,因此小直径小间距的 J-1 配筋型式更加合理。

关键词:装配式;楼梯;静力加载;挠度

中图分类号:TU 37

文献标识码:A

Research on static load test of prefabricated stairs

WEI Jing, LIU Jie-sheng, ZHANG Chuan-cheng, ZHU Bo-tao, WU Chang-qing

(School of Civil Engineering and Architecture, Wuhan Polytechnic University Wuhan 430023, China)

Abstract: Based on the static loading test, the structural performance characteristics of two precast reinforced concrete stairs J-1 and J-2 with the same reinforcement ratio and different reinforcement diameter and spacing are studied. The test results show that: under the loading conditions of serviceability limit state and bearing capacity limit state, both stairs meet the requirements of the code. Under the same loading conditions, the deflection of large diameter and large spacing reinforcement is greater than that of small diameter and small spacing reinforcement, so the reinforcement type of small diameter and small spacing is more reasonable.

Key words: prefabricated; stairs; static loading; deflection

1 引言

目前,我国建筑行业快速发展,建筑行业作为国民经济的支柱产业,就业容量大,对改善人民生活,发展国家经济起着重要作用^[1,2]。传统建筑行业施工技术对环境造成了各种各样的环境污染问题,如粉尘污染、噪声污染、光污染、水污染、土壤污染和固体垃圾污染^[3]。因此为响应国家的可持续发展战略,我国未来建筑行业发展的方向是建筑工业

化^[4],提高建筑的性能和质量,发展绿色建筑,节约能源和资源^[5]。其中发展装配式建筑是建筑工业化的重要产物,也是传统建筑业与先进制造业的融合的重要产物^[6]。楼梯是楼层间用于垂直交通的重要构件,是楼层之间的交通联系,是建筑物中必不可少的重要组成部分^[7,8],因此楼梯产业化具有积极推动作用,预制装配式钢筋混凝土楼梯的推广及应用是楼梯产业化的一种重要方式,也是绿色建筑、绿色施工的体现^[9,10]。传统的现浇楼梯的施工工艺

收稿日期:2021-04-21.

作者简介:魏靖(1996-),男,硕士研究生,E-mail:1625844573@qq.com.

通信作者:刘杰胜(1980-),男,副教授,E-mail:ljs628@163.com.

基金项目:湖北省交通厅科研计划项目(2018-422-1-11);湖北省教育厅科研计划项目(B2020064).

存在着工艺复杂、质量参差不齐、拖延施工进度等问题^[11,12]。而采用预制装配式楼梯工序简单、节省工期、质量外形控制好、人工材料成本低、节能环保、有利施工安全管理,可以很好地解决以上缺陷问题^[13]。目前,西欧国家低层建筑大多采用预制装配式建筑,占混凝土结构建筑比例的 40%,美国住宅中预制装配式混凝土结构占 35%,日本低层建筑和住宅以装配式建筑为主,所占比例已超过 50%^[14,15]。随着国家政府推动发展预制装配式建筑的相关政策及相关规范的发布,鼓励发展绿色施工、绿色建筑,预制装配式施工技术得广泛的工程应用^[16,17]。

近年来关于装配式楼梯的研究主要在楼梯对主题结构抗震性能的影响,大多数研究通过数值模拟的方法实现,只有少数研究通过静力试验的方法实现,但对于楼梯自身极限状态、承载能力研究较少^[18-20]。在本文中,笔者对预制装配式钢筋混凝土楼梯进行静载试验,研究配筋率相同,但钢筋直径不同、钢筋布置的间距也不同的两种装配式楼梯在受相同荷载的情况下,装配式楼梯的挠度变化情况,为装配式楼梯配筋设计提供依据。

2 材料与方法

2.1 试件设计

本文试验试件为某还建房项目中的预制装配式楼梯。本次试验共设计 2 个楼梯试件,编号分别为 J-1、J-2,现场试件如图 1 所示,构件高度为 3 220 mm,宽度为 1 185 mm,计算跨度 L_0 为 4 920 mm,试件尺寸及配筋图如图 2—图 4 所示。



图 1 试件现场图

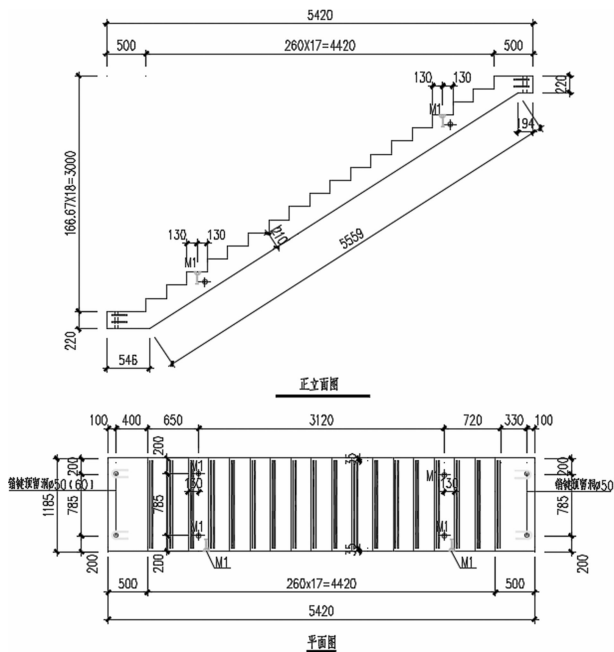


图 2 J-1、J-2 试件尺寸图

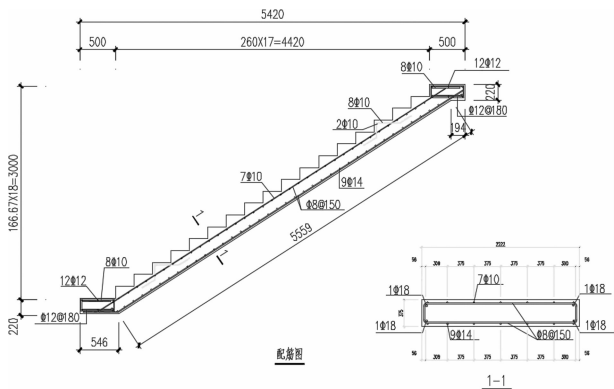


图 3 J-1 试件配筋图

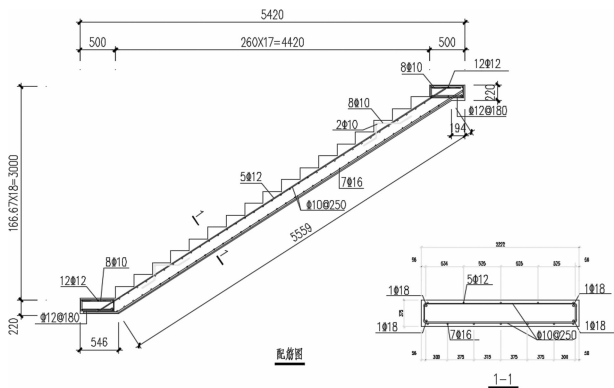


图 4 J-2 试件配筋图

J-1 和 J-2 两个装配式楼梯构件的混凝土强度等级均为 C30 (即混凝土立方体抗压强度为 30 MPa),受力钢筋均为 HRB400 (即钢筋的屈服强度 f_y 为 400 MPa,极限强度 f_u 为 570 MPa)。

2.2 加载过程及测试方案

笔者采用正常使用极限状态和承载力极限状态的荷载分为自重荷载 (2.6 kN/m^2) 和活荷载 (2.5 kN/m^2), 根据标准规范要求^[21], 如表 1 所示,

表 1 荷载效应的设计值

项目	自重荷载 /(kN/m^2)	活荷载 /(kN/m^2)	永久荷载 分项系数	可变荷载 分项系数	荷载设计值 /(kN/m^2)
正常使用极限状态	2.6	2.5	—	—	5
承载力极限状态	2.6	2.5	1.35	1.4	7

对 J-1、J-2 两个装配式楼梯构件进行静载试验, 本次试验分加载和卸载两阶段, 其中加载分 8 级, 卸载分 2 级 (前 8 级为加载、后 2 级为卸载)。根据混凝土结构试验方法标准规范中的加载程序, 为检验装配式楼梯构件的两端简支支座是否平稳, 位移传感器和应变片等仪表设备和线路连接是否可以正常工作, 因此需要在装配式楼梯构件静载试验开始前进行对构件进行预加载, 并要对位移传感器和应变片进行调零, 消除因温度和湿度等外部因素对设备产生的影响^[22]。预加荷载值应取 1.5 kN/m^2 , 控制装配式楼梯构件在弹性范围内受力, 不应该产生裂缝, 卸载后不应产生残余变形。将装配式楼梯板划

本次测试试验中加载荷载取 5 kN/m^2 和 7 kN/m^2 , 分别作为正常使用极限状态和承载能力极限状态的试验荷载。

分为五个区域 ($1185 \text{ mm} \times 984 \text{ mm}$), 面积分别为 1.17 m^2 , 每一个区域进行分级加载, 荷载分级应包括各级临界试验荷载值, 每次荷载加载完成后, 等待时间不应少于 5 min , 采集数据且数据趋于稳定后, 方可继续加载。每次加载时间应尽量保持一致。试验加载及卸载情况如表 2 所示。

试验中采用砂包代表荷重进行加载、卸载, 砂包质量为每袋 50 kg 。加荷前砂包应称重, 确保砂包重量达标, 采用人工搬砂包放在装配式楼梯结构构件上。试验过程中, 若装配式楼梯构件的挠度超过规定限值需要及时终止试验, 避免出现事故。加载示意图如图 5 所示。

表 2 试验加、卸载分级及各级加、卸载量

荷载级数	本级荷载加载及 卸载量/ kPa	累计荷载 加载量/ kPa	构件本级 加载(卸)量/ kg	构件累计 加(卸)量/ kg
1	1.5	1.5	877.5	877.5
2	0.7	2.2	409.5	1 287
3	0.7	2.9	409.5	1 696.5
4	0.7	3.6	409.5	2 106
5	0.7	4.3	409.5	2 515.5
6	0.7	5	409.5	2 925
7	1	6	585	3 510
8	1	7	585	4 095
9	3.5	3.5	2500	2 047.5
10	3.5	0	2500	2 047.5

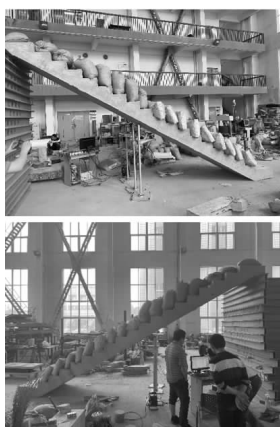


图 5 试件加载示意图

2.3 测点布置

在荷载作用下装配式楼梯产生的挠度变形使用位移传感器测量, 裂缝观测采用游标卡尺。在装配式楼梯板的两端支座中点和楼梯板的跨中点分别布置观测点, 共设置 3 个观测点, 具体测点布置图如图 6 所示。从左到右分别为测点 1、测点 2、测点 3。

3 试验结果

3.1 试验现象

J-1、J-2 楼梯构件在加载过程中, 当外加荷载为 1.5 kN/m^2 , 两楼梯构件变形极其微小, 均未出

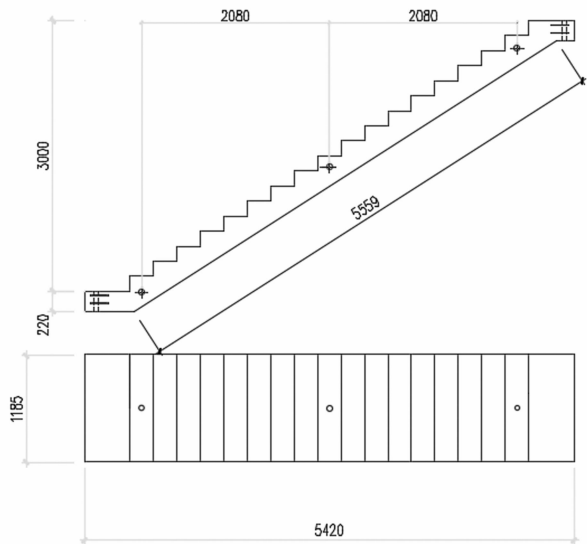


图6 试件加载示意图

现裂纹。随着外加荷载的增大,外加荷载为 3.5 kN/m^2 , J-2 楼梯构件的跨中底板的中间处先出现细小裂纹,继续加载至外加荷载为 4 kN/m^2 , J-1 楼梯构件的跨中底板的中间处出现微裂纹。外加荷载达到 5 kN/m^2 时, J-2 楼梯构件的跨中底板的两侧 $1/4$ 处出现裂纹,外加荷载为 5.4 kN/m^2 , J-1 楼梯构件的跨中底板的两侧 $1/4$ 处出现裂纹,继续加载至外加荷载为 7 kN/m^2 时,施加荷载等于承载力极限状态下设计值,但 J-1 和 J-2 楼梯均都没有达到承载力极限状态,板底未开裂(裂缝贯穿形成全宽度上的裂缝或者影响结构安全性),满足要求^[20,21]。

3.2 试验数据与分析

试验所得荷载—挠度变形关系如表 3、表 4 所示,图 7 为试件 J-1、J-2 楼梯荷载量与最大挠度变形的关系曲线。根据表 3、表 4、图 7,随着楼梯所受荷载逐渐增大, J-1 与 J-2 各测点的挠度变形、最大挠度变形不断增大,当加载到 5 kN/m^2 时,测点 2 的挠度变形最大, J-1 和 J-2 挠度变形分别为 7.35 mm , 11.21 mm ,根据标准规范的要求^[21],修正后(支座沉降修正)的最大挠度变形分别为 6.135 mm 和 9.77 mm ,均满足标准规定中楼梯构件挠度限值,不得大于 $L_0/200 = 24.6\text{ mm}$,由于两楼梯构件所受的荷载达到正常使用极限状态要求的试验荷载,最大挠度小于挠度限值,裂缝最大宽度小于最大裂缝宽度限值,因此 J-1 和 J-2 楼梯构件均满足正常使用极限状态要求。继续加载,当试验荷载加载到 7 kN/m^2 时,

装配式楼梯所受荷载达到承载力极限状态的设计值, J-1 和 J-2 楼梯构件均未达到承载力极限状态(构件并未发生破坏,构件并未因变形过大而不适于继续使用,构件稳定性并未失效), J-1 和 J-2 楼梯中测点 2 的挠度变形分别为 9.67 mm , 14.67 mm ,修正后的最大挠度变形分别为 8.120 mm 、 13.005 mm 。因此, J-1、J-2 楼梯构件均满足标准规定的承载力要求。卸载后 J-1 与 J-2 的最大挠度变形分别为 2.130 mm , 3.455 mm 。分析表 3、表 4、图 7 可知两种装配式楼梯 J-1、J-2 在受相同荷载时, J-1 的挠度变形、最大挠度变形和残余变形均小于 J-2,两楼梯均满足正常使用极限状态和承载力极限状态的设计要求。

表 3 J-1 楼梯荷载量与各测点挠度变形

荷载量 /kPa	变形量/mm		
	测点 1	测点 2	测点 3
0	0	0	0
1.5	0.34	1.27	0.33
2.2	0.47	2.46	0.51
2.9	0.69	3.62	0.64
3.6	0.88	4.76	0.63
4.3	1.04	6.00	1.05
5	1.22	7.35	1.21
6	1.44	8.49	1.40
7	1.57	9.67	1.53
3.5	1.10	6.66	0.87
0	0.32	2.45	0.32

表 4 J-2 楼梯荷载量与各测点挠度变形

荷载量 /kPa	变形量/mm		
	测点 1	测点 2	测点 3
0	0	0	0
1.5	0.54	1.87	0.52
2.2	0.68	3.51	0.67
2.9	0.82	5.86	0.81
3.6	0.96	7.63	0.94
4.3	1.15	9.54	1.12
5	1.45	11.21	1.43
6	1.58	13.10	1.56
7	1.72	14.72	1.71
3.5	1.10	9.67	0.95
0	0.52	3.98	0.53

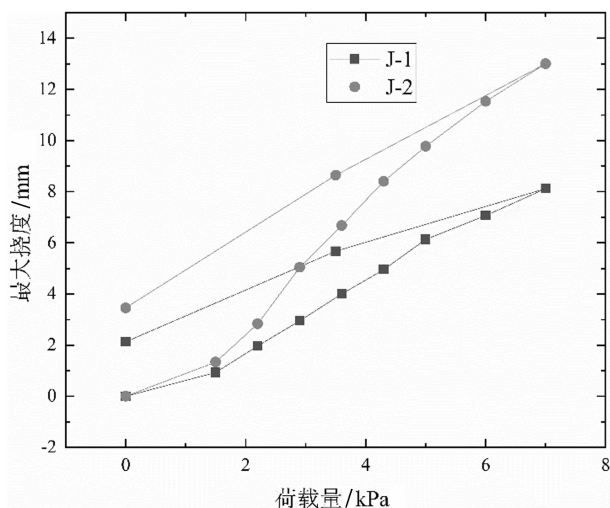


图7 J-1、J-2 楼梯荷载量与最大挠度变形的关系曲线

4 结论

通过对配筋率相同,但钢筋直径不同、钢筋布置间距不同的两种装配式楼梯采用相同荷载分别进行静载试验,可以直观地了解楼梯的受力性能。由 J-1、J-2 试验可得,施加荷载逐渐增大,楼梯构件试验荷载为 5 kN/m^2 ,两装配式楼梯的跨中挠度和裂缝均满足标准规定要求,满足正常使用极限状态的要求,当荷载施加至最大试验荷载时,J-1、J-2 均未达到承载能力极限状态,满足承载能力极限状态的设计要求。在静载试验过程中,J-1 的挠度变形和残余变形小于 J-2,故实际工程中宜采用 J-1 的配筋方式。

参考文献:

- [1] 李红艳. 建筑业与国民经济协调发展研究[D]. 郑州:郑州航空工业管理学院,2018.
- [2] 韩静敏. 精益思想在工程项目实施中造价管理的应用研究[D]. 广州:广州大学,2012.
- [3] 孙忠明. 传统建筑行业施工技术对环境造成的危害分析[J]. 工程技术研究, 2019, 4(14):253-254.
- [4] 刘阳. 核心筒墙与装配式梁平面外连接点抗震性能研究[D]. 沈阳:沈阳建筑大学,2015.
- [5] 范亚威. 基于 BIM 技术的装配式建筑设计研究[D]. 西安:西安工业大学,2018.
- [6] 建筑机械化期刊编辑部. 推动装配式建筑快速发展 助力碳中和、碳达峰[J]. 建筑机械化, 2021, 42(04):8-10.
- [7] 刘成生. 钢结构楼梯的动力性能分析[D]. 西安:西安建筑科技大学,2010.
- [8] 葛蓉. 模糊界面设计手法在办公空间的运用研究[D]. 南京:南京工业大学,2018.
- [9] 李利. 预制装配式楼梯在高层住宅中的应用[J]. 上海建设科技, 2017(05):46-48.
- [10] 李光强. 论推广装配式楼梯的必要性[J]. 江西建材, 2017(04):45+47.
- [11] 谌洪菊, 陈平, 刘文俊. 预制装配式楼梯在某高层建筑中的应用[J]. 工程建设, 2017, 49(04):53-55.
- [12] 孟志鹏, 赖应良. 高层建筑采用装配式楼梯的可行性与必要性论述[J]. 中国物流与采购, 2018(22):72-73.
- [13] 刘炼凯. 某高层住宅预制楼梯静载试验与分析[J]. 广东建材, 2016, 32(08):43-45.
- [14] 赵均, 侯鹏程, 刘敏, 等. 混凝土框架楼梯结构抗震性能拟静力试验研究[J]. 建筑结构学报, 2014, 35(12):44-50.
- [15] 高峰. BIM 技术在 PC 装配式住宅设计施工阶段的应用研究[D]. 镇江:江苏科技大学, 2017.
- [16] 徐建, 李海洲, 王玮. 预制混凝土楼梯在现代建筑产业化工程中的设计与应用[J]. 建筑结构, 2014, 44(13):44-46+23.
- [17] 李利. 预制装配式楼梯在高层住宅中的应用[J]. 上海建设科技, 2017(05):46-48.
- [18] 戴鹏, 袁盈琴. 浅谈预制混凝土楼梯在装配式建筑中的技术应用[J]. 住宅与房地产, 2019(02):87-90.
- [19] 万飞, 刘族盛, 杨成亮. 装配式楼梯检测中静载试验的探索[J]. 智能城市, 2016, 2(11):80.
- [20] 胡浩, 李正良, 刘红军, 等. 分片装配式楼梯试验研究及有限元分析[J]. 建筑结构, 2018, 48(07):97-106.
- [21] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 混凝土结构设计规范:GB 50010-2010[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2011.
- [22] 董海燕. 某住宅楼安全性及顶层楼板裂缝分析[J]. 山西建筑, 2013, 39(20):39-40.
- [23] 刘远松. 岩石地基中柱下独立基础的破坏模式及承载力研究[D]. 重庆:重庆大学, 2015.