

全轻集料预制钢筋混凝土楼梯结构性能检验

吴基因¹, 张再华^{1,2*}, 胡国兴^{1,2}

¹湖南城市学院, 湖南 益阳

²湖南城市学院, 土木工程国家级实验教学示范中心, 湖南 益阳

收稿日期: 2022年1月26日; 录用日期: 2022年2月15日; 发布日期: 2022年2月22日

摘要

预制钢筋混凝土楼梯是目前装配式建筑中采用最为广泛的一类预制构件, 但由于其自重较大而带来了一些使用上的困难。本文从减轻结构自重角度出发, 提出一种基于页岩陶粒混凝土的全轻集料预制混凝土楼梯, 并针对该新型预制楼梯足尺试件开展了结构性能试验研究。研究表明: 新型预制装配式楼梯在有效减轻结构自重的同时, 各项结构性能均能满足现行规范要求。研究结果对该新型装配式楼梯的工程应用提供了试验依据。

关键词

全轻集料, 预制楼梯, 结构性能检验

Structural Performance Inspection of Precast Reinforced Concrete Stair with Lightweight Aggregate

Jiyin Wu¹, Zaihua Zhang^{1,2*}, Guoxing Hu^{1,2}

¹College of Civil Engineering, Hunan City University, Yiyang Hunan

²National Experimental Teaching Demonstration Center for Civil Engineering, Hunan City University, Yiyang Hunan

Received: Jan. 26th, 2022; accepted: Feb. 15th, 2022; published: Feb. 22nd, 2022

Abstract

The precast reinforced concrete staircase is a kind of most widely used precast component in the

*通讯作者。

prefabricated buildings at present, but due to its large weight, it brings some difficulties in application. From the perspective of reducing weight, a new type of prefabricated concrete staircase based on shale ceramsite concrete is proposed in this paper, and the structural performance test of the staircase was carried out. The results show that the new type of prefabricated staircase can effectively reduce the weight of the structure, and all the structural properties can meet the requirements of the current code. The research results provide experimental basis for the engineering application of the new fabricated staircase.

Keywords

All Light Aggregate, Precast Staircase, Inspection of Structural Performance

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着建筑工业行业产品标准《预制混凝土楼梯》(JG/T 562-2018) [1]的推广应用, 预制装配式楼梯因其标准化程度高、产品质量可控、现场安装时间短、污染浪费少诸多优点, 目前已成为装配式混凝土结构工程中使用最为广泛的一类型预制构件[2] [3]。但这类型构件的自重较大, 给现场的吊装作业带来不少困难。如何有效降低预制混凝土楼梯的结构自重, 已成为近年来工程人员较为关注的一个问题。本文提出一种基于页岩陶粒混凝土制作的全轻集料预制钢筋混凝土楼梯, 并对其结构性能进行了试验检验。

2. 页岩陶粒混凝土预制楼梯概况

2.1. 预制楼梯设计制作

预制装配式楼梯的混凝土采用页岩陶粒与页岩陶砂作为粗细骨料的全轻集料混凝土, 混凝土设计强度 LC30, 配合比依据《轻骨料混凝土技术规程》(JGJ51-2002) [4]进行设计, 质量配合比为: R42.5 水泥: 陶粒: 陶砂: 水 = 430:260:440:250。陶粒采用湖南华信陶粒科技有限公司生产的 500 级碎石型页岩陶粒, 陶砂为 900 级页岩陶砂, 骨料基本性能如表 1, 表 2 所示。现场测试混凝土容重 14.8 kN/m^3 (图 1 所示), 相比普通 C30 混凝土, 全轻集料混凝土自重减轻约 38%。

Table 1. Basic properties of ceramsite

表 1. 陶粒的基本性能

粒径/mm	堆积密度/(kg/m^3)	筒压强度/MPa	2 h 吸水率/%	软化系数
5~10	520	2.6	3.1	0.9

Table 2. Basic properties of ceramic sand

表 2. 陶砂的基本性能

粒径/mm	含泥量/%	硫化物和硫酸盐含量/MPa	煮沸质量损失量/%	堆积密度	细度模数
≤ 5	≤ 1.0	2.6	3.1	0.9	3.5



Figure 1. Test of bulk density of all light ceramsite concrete
图 1. 全轻陶粒混凝土容重测试

针对 3.6 m 跨度楼梯，试验参照预制钢筋混凝土板式楼梯(15G367-1)设计制作一足尺试验预制楼梯，楼梯试件几何尺寸如图 2 所示，梯板厚度 140 mm。图 3 为楼梯截面配筋情况，采用了双层钢筋网片配筋，顶底网片筋均为 C12@200，分布钢筋为 C8@200，楼梯在工厂进行预制加工，现场浇筑情形如图 4 所示。

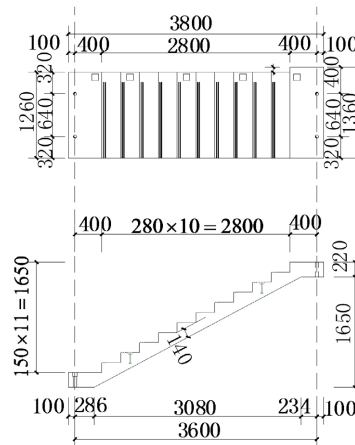


Figure 2. Stair section size
图 2. 楼梯截面尺寸

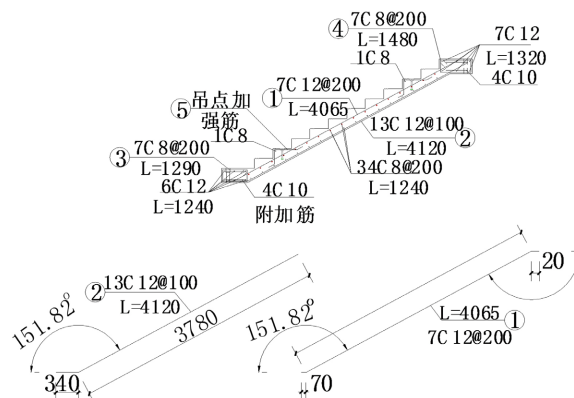


Figure 3. Reinforcement of staircase section
图 3. 楼梯截面配筋情况



Figure 4. Precast staircase factory processing. (a) Stair mold and reinforcement situation; (b) Stair concrete casting situation

图 4. 预制楼梯工厂加工。(a) 楼梯模具与配筋情形；(b) 楼梯混凝土浇筑情形

2.2. 检验荷载分析

预制楼盖结构性能检验依据 GB50204-2015《混凝土结构工程施工质量验收规范》[5]附录 B 对受弯预制构件的检验要求与试验方法进行，检验内容包括：承载力检验、准永久荷载下的挠度检验和裂缝宽度检验。对检验过程采用的荷载分析如下：

预制楼梯为简支受力，计算跨度为 $l = 3.6 \text{ m}$ ，宽度 $b = 1.28 \text{ m}$ 。由设计截面可以确定楼梯自重为 28.2 kN ，其计算自重线荷载为 7.84 kN/m ，楼梯活荷载标准值为 $3.5 \times 1.28 = 4.48 \text{ kN/m}$ ，由此可以确定：楼梯检验分析时：截面荷载准永久组合为 $G + 0.3q = 9.18 \text{ kN/m}$ ；荷载标准组合为 $G + q = 12.32 \text{ kN/m}$ ；荷载基本值组合取 $1.3G + 1.5q = 16.91 \text{ kN/m}$ 。

根据《混凝土结构设计规范》(GB50010-2015) [6]中规定，对于正常使用极限状态，构件检验应按荷载准永久组合并考虑长期作用影响；根据 GB50009-2012《建筑结构荷载规范》的规定，楼面活荷载准永久系数为 0.3。在扣除结构自重后，挠度和裂缝检验，试验所施加的荷载为 $4.48 \times 0.3 = 1.34 \text{ kN/m}$ ，实际加载值应为： $1.34 \times 3.6 = 4.83 \text{ kN}$ 。

当检验构件承载力时，检验荷载应按荷载基本组合值确定。试验前难以准确预测试件的破坏形态，GB50204-2015 依据构件受弯与抗剪的不同受力模式，给出了不同的承载力检验系数，针对本文新型预制装配楼梯，弯曲挠度达跨度的 $1/50$ 时，检验系数为 1.2，受拉主筋断裂时，检验系数为 1.6，则扣除结构自重后，对应上述两项极限状态所需施加的总荷载值分别为： 44.85 kN ， 69.2 kN 。

3. 楼梯结构性能检测

3.1. 检验装置与测点布置

楼梯结构性能检验采用短期静力荷载均布加载的方法，加载方式模拟楼梯正常受力状态，试验装置如图 5 所示。在楼梯跨中设置位移计量测跨中挠度，侧测点布置与位移计安装如图 6 所示。试验过程中挠度采用数显百分表进行记录，楼梯裂缝宽度采用智博联 ZBL-F130 型裂缝宽度观测仪进行观察记录。



Figure 5. Test device drawing for stair performance
图 5. 楼梯性能试验装置图

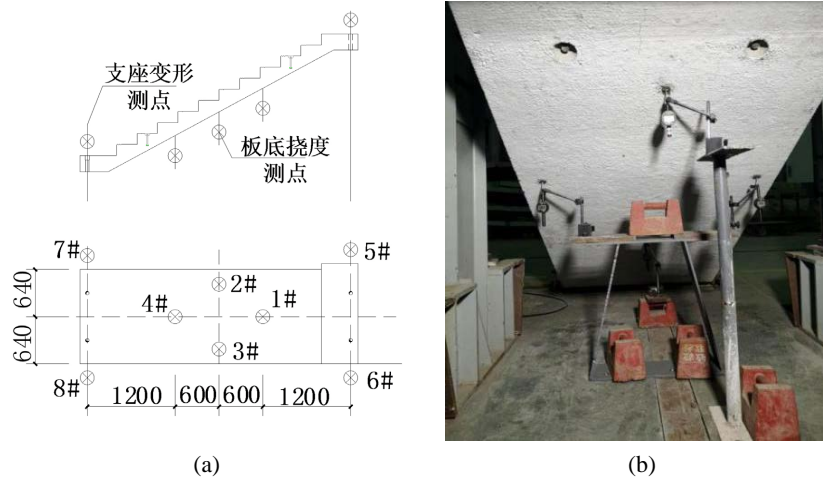


Figure 6. Layout of survey points. (a) Layout of survey points; (b) Installation of displacement meter under the slab
图 6. 试验测点布置。(a) 测点布置图; (b) 板底位移计安装情形

3.2. 加载制度确定

试验采用砝码堆载分级加载，单个砝码重量为 25 kg，结合试验荷载准永久组合值与标准组合值、承载力能力检验值的数值，设计加载制度如下：

- 1) 挠度和裂缝宽度检验阶段，荷载分 2 级施加，分级加载(kN)：0→2.5→5.0。
- 2) 承载力检验阶段，荷载分 7 级施加，分级加载(kN)：5.0→12→24→36→46→54→62→71。
- 3) 检验过程加载方式为单调加载，每级加载完成后，持续 10 min，加载到极限值后，持续 30 min。
- 4) 当出现下列情况之一时，终止加载：a) 完成单调加载的全过程；b) 试验构件出现达到承载能力极限状态的检验标志。

3.3. 试验结果

根据现场加载试验，在检测过程中记录跨中挠度实测值及楼梯底部裂缝开展情况，试验结果统计如表 3 所示。图 7、图 8 为加载 62 kN 情形时楼梯的堆载与梯板开裂情形。

Table 3. Test results under various loads
表 3. 各级荷载作用下检验测试结果

荷载步	累计加载值(kN)	实测跨中挠度(mm)	最大裂缝宽度(mm)
0	0	0	—
1	2.5	0.4	—
2	5	0.8	0.06
3	12	2.02	0.10
4	24	6.47	0.19
5	36	10.89	0.23
6	45	13.61	0.30
7	54	16.65	0.33
8	62	18.42	0.37
9	71	20.82	0.42

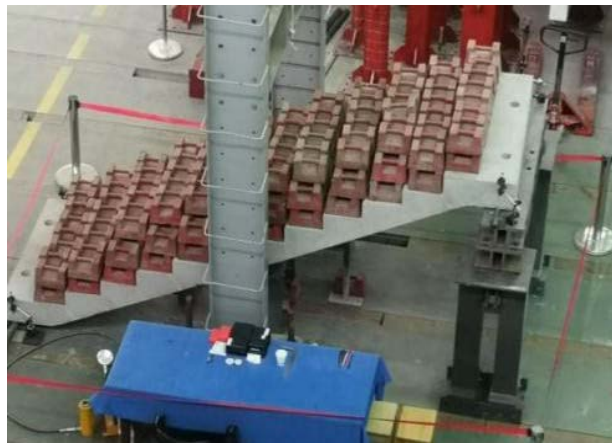


Figure 7. Loading situation in site
图 7. 现场加载情形

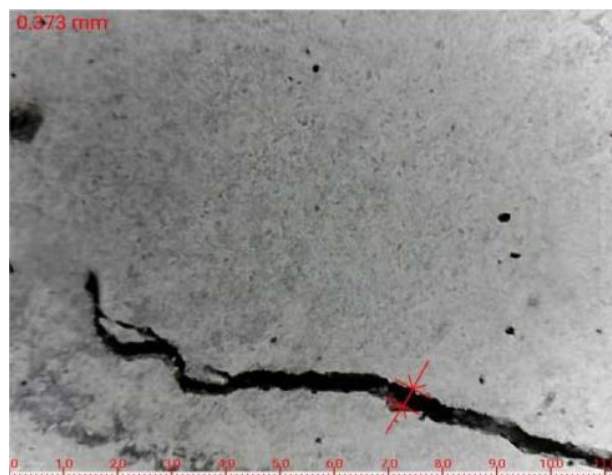


Figure 8. Maximum crack width of stairs under 62 kN pile load
图 8. 堆载 62 kN 情形下楼梯最大裂缝宽度

4. 检验结果分析

4.1. 挠度检验

根据《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB50204-2015)规定,构件自重产生的跨中挠度 $a_g^0 = (M_g/M_b)a_b^0$ (M_g , M_b 分别为结构自重与外加荷载作用下楼梯跨中弯矩值)由开裂前一级加载量下挠度实测值进行推算。开裂前一级荷载作用下挠度实测值为 $a_b^0 = 0.4$ mm,算得构件自重产生的跨中挠度为 $a_g^0 = 0.34$ mm。

荷载准永久组合值加载量下挠度为 $a_s^0 = 0.40 + 0.34 = 0.74$ mm。按现行国家标准《混凝土结构设计规范》(GB50010-2010)确定的挠度检验允许值 $[a_s] = [a_f]/\theta$;其中受弯构件的挠度限值 $[a_f] = 3600/200 = 18$ mm,考虑荷载长期效应组合对挠度增大的影响系数 $\theta = 1.6$,则度检验允许值 $[a_s] = 18/1.6 = 11.25$ mm,实测荷载准永久组合值加载量下挠度 $a_s^0 \leq [a_s]$,该项满足《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB50204-2015)规定。

4.2. 裂缝宽度检验

在挠度、裂缝检验阶段,预制楼梯没有出现裂缝,在第三级荷载作用下(承载力检验阶段)试件才开始观测到裂缝。依据《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB50204-2015)规定,挠度、裂缝检验阶段裂缝宽度限值为0.2 mm,在承载力检验极限状态时,受拉主筋处的最大裂缝宽度为1.5 mm。由表1测试结果可知,在承载力极限情形状态下的裂缝最大宽度为0.42 mm,裂缝宽度满足要求。

4.3. 承载力检验

当累计外加荷载达45 kN时(检验系数1.2),实测楼梯跨总最大挠度为13.61 mm,小于挠度限值 $L/50 = 3600/50 = 72$ mm;同时,当累计外加荷载达71 kN时(检验系数1.6),楼梯受力主筋并未产生拉断现象,整个加载过程也并未出现其他承载能力极限状态的检验标志,根据《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB50204-2015)的相关规定,预制楼梯承载力检验满足要求。

5. 结论

1) 基于全轻页岩陶粒混凝土的轻集料预制钢筋混凝土试验楼梯结构自重相比普通钢筋混凝土减轻了39%,减重效果显著,对该类型预制楼梯的工程应用具有极大意义。

2) 预制楼梯在挠度、裂缝检验阶段,最大挠度值为0.8 mm,最大裂缝宽度为0.06 mm,均小于检验容许值,楼梯刚度满足正常使用要求。

3) 当承载力检验系数达1.6时,预制楼梯并未产生主筋拉断现象,同时楼梯的最大挠度也未超过 $L/50$,表明现行预制楼梯国标图集当采用全轻页岩混凝土设计,楼梯性能同样能满足规范要求。

基金项目

湖南省大学生创新创业训练计划项目:压型钢板-陶粒混凝土-纤维强增水泥板复合型组合楼板动力特性与承载力性能研究(3374)。

参考文献

- [1] 冯海悦,高志强,蒋勤俭,等. JG/T 562-2018. 预制混凝土楼梯[S]. 北京: 中华人民共和国住房和城乡建设部, 2018.
- [2] 王斌. 装配式楼梯型式及裂缝试验研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东建筑大学, 2019.

- [3] 马超, 邢飞. 装配式建筑中预制楼梯的施工技术[J]. 建筑技术, 2018, 49(z1): 121-122.
- [4] 丁威, 龚洛书, 周运灿, 等. JGJ51-2002. 轻骨料混凝土技术规程[S]. 北京: 中华人民共和国建设部, 2002.
- [5] 李东彬, 张仁瑜, 张元, 等. GB50204-2015. 混凝土结构工程施工质量验收规范[S]. 北京: 中国人民共和住房和城乡建设部, 2015.
- [6] 赵基达, 徐友邻, 黄小坤, 等. GB50010-2015. 混凝土结构设计规范[S]. 北京: 中国人民共和住房和城乡建设部, 2015.