

混凝土楼板原位加载试验与荷载应用

赵俊迪, 付晓东, 张淮森

(中国建筑科学研究院有限公司, 北京 100013)

摘要: 对于存疑建筑构件结构, 通常采用原位加载试验进行性能检, 不同规范对原位加载试验的荷载要求不一。为了解不同情况下对于试验荷载的选用, 文章介绍了钢筋混凝土楼板原位加载试验的加载方案、基本过程和试验分析结果, 并以工程实例为背景, 进一步探讨在不同规范下试验荷载的取值与计算, 分析构件适用性检验、正常使用状态下构件承载力检验和构件承载力检验的试验荷载的应用。结果表明: 构件适用性检验时宜选用《建筑结构检测技术标准》的计算方式, 正常使用状态下构件承载力检验时, 宜选用《混凝土结构现场检测技术标准》(GB/T 50784—2013) 的检验方式, 构件承载力检验时宜选用 GB/T 50784—2013 的检验方式。本文成果可为原位加载试验的荷载取值提供一点借鉴。

关键词: 原位加载; 试验荷载; 适用性检验; 安全性检验; 承载力检验

中图分类号: TU528

文献标识码: A

文章编号: 1673-8993(2024)03-0074-05

doi: 10.13402/j.gcjs.2024.03.041

In-situ load testing of floor slabs and analysis of load applications

ZHAO Jundi, FU Xiaodong, ZHANG Huaisen

(China Academy of Building Research, Beijing 100013, China)

Abstract: In-situ loading tests are usually used to test the performance of doubtful building component structures. Different codes have different load requirements for in-situ loading tests. In order to understand the selection of test loads under different conditions, the loading scheme, basic process and test analysis results of in-situ loading test of reinforced concrete floor slab are first introduced, and then the value and calculation of test loads under different specifications with engineering examples as the background are further discussed, finally, the application of test loads for component suitability test, component bearing capacity test and component bearing capacity test under normal use is analyzed. The results show that the calculation method of *Technical standard for inspection of building structure* should be used for the test of component suitability, the test method of GB/T 50784—2013 should be used for the test of component bearing capacity under normal use, and the test method of *Technical standard for in-situ inspection of concrete structure* (GB/T 50784—2013) should be used for the test of component bearing capacity. The results can provide some references for the load value of in-situ loading test.

Key words: in-situ loading; test load; applicability test; safety test; load-bearing test

结构原位加载试验是为了模拟建筑构件结构的实际受力状态, 因此不能简单地采用“荷载模拟”, 应遵循“内力模拟”的原则, 在结构的不同区域进行加载。在试验过程中, 为避免试验荷载过大、加载方式错误导致尚在使用构件产生失稳和破坏现

象, 应根据不同试验目的确定其试验要求和试验荷载限值范围。龚超等^[1]通过原位加载试验验证分析可变荷载作用下楼盖的裂缝发展与自振频率, 发现随着可变荷载的增加楼盖自振频率降低; 叶季斌等^[2-3]通过有限元软件 ANSYS 模拟楼板挠度和开

收稿日期: 2023-10-13

作者简介: 赵俊迪(1998—), 男, 助理工程师, 从事检测鉴定方面的工作。

通信作者: 付晓东(1984—), 男, 高级工程师, 一级结构工程师, 注册岩土工程师, 从事结构设计、检测鉴定方面的工作。

裂，发现构件加载实际状况与模型模拟结果基本一致；徐平荣等^[4]为验证楼板的安全性能，通过考虑荷载最不利的因素进行载荷试验，发现楼板实际承载力高于理论计算值，结构具有较大的安全富余量。本文通过工程实例，介绍正常使用极限状态下的原位加载试验，综合《建筑结构检测技术标准》(GB/T 50344—2019)^[5]、《混凝土结构现场检测技术标准》(GB/T 50784—2013)^[6]和《混凝土结构试验方法标准》(GB/T50152—2012)^[7]3 种规范，探讨在确保试验过程的安全性和可控性的条件下，对于构件适用性检验、构件正常使用状态下构件承载力检验、构件承载力检验的试验荷载的选用，以期为今后相关的工程项目提供一定的参考。

1 楼板加载试验

结构原位加载试验一般包括工程概况检查、方案制定、试验以及分析 4 个环节，其中方案制定包括试验荷载的选用、试验的工艺、试验的安全防护。试验前先检查试验环境，分析构件状况，并根据不同的试验需求建立完整的试验方案，依据相关规范计算出逐级加载量以及最大加载量；然后，根据方案中拟定的构件变形、裂缝的现场状况停止试验；最后，整理数据分析相应的结构性能。对构件进行承载力性能检验时，应缓慢加载，观察试验停止的标志现象，当达到拟定的最大试验荷载时，即使构件仍未发生破坏也应当停止试验，不得超载，并注意及时卸载。

1.1 工程概况

某工程为地上五层(局部六层)砌体结构，房屋纵横墙布置均匀对称，房间内楼板为现浇混凝土楼板，楼板厚度约为 100 mm。建筑楼面活荷载标准值取 2.0 kN/m²，因现场图纸缺失，恒荷载标准值按现场实际取值考虑为 2.0 kN/m²，装修荷载考虑为 0.5 kN/m²。因该建筑有重点实验室，结构

安全等级取一级，重要性系数为 1.1。

为了解楼板结构现状，采用楼板正常使用极限状态下的原位加载检验，根据检验构件在试验荷载值作用下的挠度和构件裂缝的等指标判断结构能否满足正常使用极限状态的要求。

1.2 试验方案

试验采用配重块或沙袋加载，以 4-7-W-Y 轴楼板为例，划分 9 个加载区域，加载区域划分布置如图 1 所示。检测设备采用电子百分表(位移计)，位移计位置如图 2 所示。采用五级加载的方式，检验荷载考虑楼面活荷载 2.0 kN/m² 和楼面做法荷载的 1.1 的超载系数的组合。按现场实际状况，每平方米最大荷载值取 2.05 kN/m²，分级加载方案如表 1 所示。

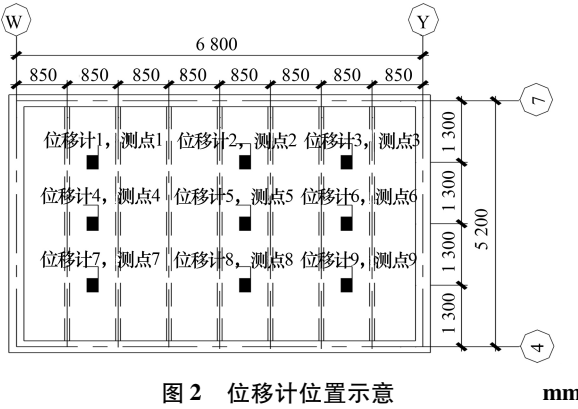
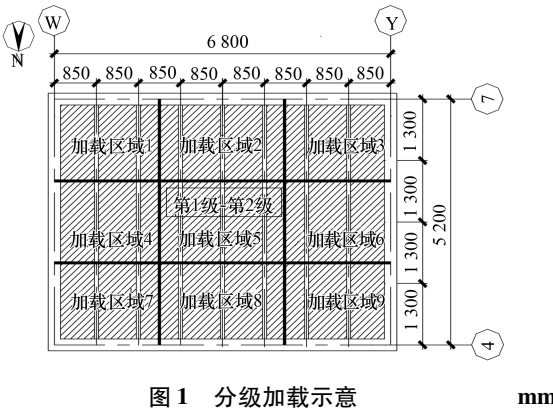


表 1 楼板分级加载方案

级别	荷载/(kN·m ⁻²)	质量/(kg·m ⁻²)	总面积/m ²	沙袋数量/袋	沙袋总重/kg
第一级	0.62	62	35.3	63	2 205
第二级	1.16	116	35.3	117	4 095
第三级	1.52	152	35.3	153	5 355
第四级	1.78	178	35.3	180	6 300
第五级	2.05	205	35.3	207	7 245

现场实施加载,将各级荷载均匀施加在每个区域。根据 GB/T 50152—2012 和《混凝土结构设计规范(2015 版)》(GB 50010—2010)^[8]要求,对构件挠度检验允许值、构件裂缝宽度检验允许值及结构构件失稳等现象制定停止加载方案,具体内容:1)加载至预定荷载;2)板挠度值达到跨度的 1/250;3)楼板或梁跨中出现开裂,最大裂缝宽度大于 0.15 mm;4)板底隔墙墙根出现开裂,最大裂缝宽度大于 0.2 mm;5)现场加载相关区域出现明显脱开、错动等异常变化情况。

1.3 试验过程

将电子百分表架设在加载楼板正下方区域,固定于与脚手架相连的支座上。搭建的支座距离板顶面 20 ~ 30 cm。楼板布置 9 个测点,分别以 0.62、1.16、1.52、1.78、2.05 kN/m² 的荷载进

行试验。加载试验如图 3 所示,前四级加载后均持荷 15 min,第五级加载后持荷 30 min,卸荷后静置 15 min。记录不同荷载下楼板的测点位移值,并观察有无新增裂缝后分级卸载。在卸载过程中对楼板挠度进行实时监控,观察卸载后楼板挠度是否存在残余变形。

1.4 试验结果及分析

楼板在荷载分级加载情况下的测点位移如表 2 所示。由表 2 可知:随着试验荷载的增加,测点位移值逐渐增大,楼板发生一定程度的弯曲变形和剪切变形、应力逐渐增加,在楼板中心位置应力最大。楼板在加载过程中未发现由于受弯或受剪引起的裂缝,卸载后无残余变形。

楼板加载等级-挠度曲线如图 4 所示。由图 4 可知:所测构件挠度与荷载保持一定的线性关系。

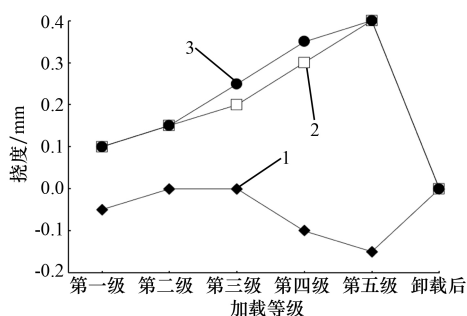


(a) 第一级加载; (b) 第二级加载; (c) 第三级加载; (d) 第四级加载; (e) 第五级加载; (f) 卸载后

图 3 现场示意

表 2 楼板测点位移

	mm				
位置	第一级	第二级	第三级	第四级	第五级
测点 1	-0.1	-0.2	-0.2	-0.3	-0.4
测点 2	0	0	-0.1	-0.1	-0.1
测点 3	0	0	0	0	-0.1
测点 4	0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
测点 5(跨中)	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	-0.5
测点 6	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	-0.5
测点 7	0	0	0	-0.1	-0.1
测点 8	0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
测点 9	0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1



测点: 1—4; 2—5; 3—6。

图 4 楼板加载等级—挠度曲线

根据 GB/T 50152—2012 确定正常使用状态下挠度检验中挠度允许值, 构件挠度在试验荷载作用下的取值应满足式(1)、(2)。

$$\alpha_s^0 \leq [\alpha_s] \quad (1)$$

$$[\alpha_s] \leq [\alpha_f]/\theta \quad (2)$$

式中: α_s^0 为构件挠度实测值, mm; α_s 为挠度检验允许值, mm; α_f 为构件挠度设计限值, mm; θ 为考虑荷载长期效应组合对挠度增大的影响系数。

根据 GB 50010—2010 中受弯构件的挠度限值相关规定, 该工程中数字轴跨度为 5 200 mm, 计算跨度 $l_0 < 7$ m, 挠度限值为 $l_0/200$, 影响系数为 1.6。根据式(1)、(2), 跨中挠度检验允许值实测挠度为 16.25 mm, 实测挠度最大值为 0.40 mm, 符合现行标准限值要求。

综上所述, 楼板满足正常使用极限状态的要求。

2 试验荷载分析

对于尚在使用的结构构件的原位加载试验, 其荷载的选用应该结合工程实际情况和试验目的进行考虑。为了更好地模拟实际工作状况下构件的结构性能, 需要考虑实际工况下荷载作用和设计荷载在试验荷载中的比例关系。同时, 为提高试验安全性和准确性, 综合 GB/T 50344—2019、GB/T 50784—2013、GB/T 50152—2012 三本规范中原位加载试验的相关规定, 合理选用不同情况下结构构件试验荷载的取值与计算。其中 GB/T 50344—2019 将试验形式分为适用性检验、荷载或构件系数检验和综合系数或可靠指标检验; GB/T 50784—2013 将检验形式分为适用性检验、安全性检验、承载力检验; GB/T 50152—2012 将检验形式分为正常使用状态检验和承载力检验。根据工程实例和检验目的, 本文将试验形式概括

为适用性检验、正常使用状态下承载力检验和承载力检验。通过该工程实例参数, 计算并分析试验荷载的选用。根据 GB/T 50344—2019 要求, 作用效应的可靠指标取 2.05, 为接近该要求, 以下计算中 GB/T 50784—2013、GB/T 50152—2012 中永久荷载分项系数宜取 1.3, 可变荷载分项系数均取 1.5。

2.1 适用性检验荷载

(1) GB/T 50344—2019 中适用性检验不考虑结构的自重荷载, 未作用在结构上的楼面荷载超载系数取值范围为 1.1~1.2, 该工程考虑为 1.1, 故适用性检验荷载为 $(1.1-1) \times 0.5 + 2.0 = 2.05$ kN/m²。

(2) GB/T 50784—2013 中适用性检验荷载效应取荷载效应的准永久组合, 不应小于永久荷载和可变荷载之和, 该工程考虑为准永久荷载与活荷载的组合, 故适用性检验荷载为 $1.4 \times 2 = 2.8$ kN/m²。

(3) GB/T 50152—2012 中正常使用状态的检验荷载取荷载效应的准永久组合, 故正常使用状态检验荷载为 $1.4 \times 2 = 2.8$ kN/m²。

2.2 正常使用状态下承载力检验荷载

(1) GB/T 50344—2019 对于既有建筑原位加载试验中荷载或构件系数检验未作用在结构上的楼面荷载的系数不宜小于 1.4, 楼面活荷载分项系数不宜小于 1.6, 故荷载或构件系数检验荷载为 $(1.4-1) \times 0.5 + 1.6 \times 2.0 = 3.40$ kN/m²。

(2) GB/T 50784—2013 中安全性检验永久荷载分项系数一般取 1.3, 可变荷载分项系数一般取 1.5, 故安全性检验荷载为 $(1.3-1) \times 0.5 + 1.5 \times 2.0 + (1.3-1) \times 2.0 = 3.75$ kN/m²。

2.3 承载能力检验荷载

(1) 根据《建筑结构荷载规范》(GB/T 50009—2012)^[9]要求, 当永久荷载效应对结构不利时, 永久荷载分项系数应取 1.35, 可变荷载分项系数一般取 1.5。故 GB/T 50344—2019 中既有结构工程综合系数检验荷载为 $(1.35 + 1.5) \times (2 + 0.5) - 0.5 \approx 6.63$ kN/m²。由于构件材料的自重分项系数和构件尺寸分项系数未知, 故无法计算可靠指标检验荷载。

(2) GB/T 50784—2013 中永久荷载分项系数一般取 1.3, 可变荷载分项系数一般取 1.5, 承载力检验

修正系数取 1.6。故承载力检验荷载为 $[(1.3-1) \times 0.5 + (1.3-1) \times 2 + 1.5 \times 2] \times 1.6 = 6.00 \text{ kN/m}^2$ 。

(3) GB/T 50152—2012 中承载力检验修正系数取 1.6, 永久荷载分项系数一般取 1.3, 可变荷载分项系数一般取 1.5, 构件重要系数取 1.1。故承载力检验荷载为 $[(1.3-1) \times 0.5 + (1.3-1) \times 2 + 1.5 \times 2] \times 1.6 \times 1.1 = 6.60 \text{ kN/m}^2$ 。

3 结论与建议

原位加载试验荷载需根据试验目的选用相应的规范, 不得背离规范的适用范围或检测目的。当前常用的标准规范有 GB/T 50009—2012、GB/T 50784—2013、GB/T 50344—2019。构件适用性检验通常为判定构件是否满足正常使用极限状态, 由于结构设计有很大的富裕度, 3 种规范的荷载计算值较小, 安全隐患也相对较小。承载力检验属于破坏性试验, 最大试验荷载的取值已经接近或超过构件承载能力的极限状态。因此, 正常使用状态下承载力检验时采用承载力试验荷载或综合系数或可靠指标试验荷载存在很大风险, 极易出现构件破坏等安全事故, 故采用荷载或构件系数检验或安全性检验计算方式。对此, 提出建议如下。

(1) 构件适用性试验荷载在不同规范的取值均安全有效, 建议选用发布时间较晚的规范 GB/T 50344—2019 中的适用性检验方式。

(2) 安全性试验荷载略小于荷载或构件系数

试验荷载, 所以正常使用状态下的承载力检验宜选用 GB/T 50784—2013 中的安全性检验方式。

(3) 构件承载力试验为更好地观察极限状态, 制定方案时最大试验荷载不宜过大, 宜选用 GB/T 50784—2013 中的承载力检验方式。

参考文献:

- [1] 龚超, 侯兆新, 刘瑄等. 楼板上承式钢-混凝土组合扁梁楼盖原位加载试验研究[J]. 建筑结构学报, 2021, 42(S2): 57-64.
- [2] 叶李斌, 张镔锋. 加固后现浇钢筋混凝土楼板静载试验分析[J]. 长沙理工大学学报(自然科学版), 2021, 18(3): 32-37.
- [3] 张浩, 房士杰, 徐海涛, 等. 某多层框架结构原位加载试验实例分析[J]. 建筑结构, 2017, 47(S1): 993-995.
- [4] 徐平荣, 绳钦柱, 张建鹏. 混凝土现浇板原位加载试验应用技术研究[J]. 工程质量, 2022, 40(7): 77-79; 84.
- [5] 建筑结构检测技术标准: GB/T 50344—2019[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.
- [6] 混凝土结构现场检测技术标准: GB/T 50784—2013[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
- [7] 混凝土结构试验方法标准: GB/T 50152—2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [8] 混凝土结构设计规范(2015 版): GB 50010—2010[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- [9] 建筑结构荷载规范: GB 50009—2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.