

施工期剪力墙结构可变荷载的调查统计分析

张成中, 彭 刚, 胡晓鹏, 朱 勇

(西安建筑科技大学 土木工程学院, 陕西 西安 710055)

摘要:近三年对西安市 5 个在建剪力墙结构的施工期可变荷载进行了调查,采用不同统计分析方法对调查结果进行了统计分析,研究了施工期可变荷载随施工过程的变化规律,分析了统计分析方法、建筑布局及施工单位等因素对施工期可变荷载的影响,给出了剪力墙结构各施工阶段施工期可变荷载标准值的建议值,并与相关研究成果进行了对比分析. 研究结果表明:各工程施工期可变荷载的调查结果均服从极值 I 型分布或指数分布;不同工程的施工期可变荷载随施工过程的变化规律基本相同,最大值出现在绑扎钢筋或拆支撑这两个阶段,最小值多出现在浇筑混凝土阶段;统计样本单元划分越细,得到的可变荷载标准值越大;工作面材料堆放越集中,不同统计分析方法得到的荷载标准值差异越大;随户内面积的增大,竖向构件施工阶段的施工期可变荷载值增大,水平构件施工阶段施工期可变荷载标准值先增大后减小;不同施工单位混凝土浇筑阶段的可变荷载值差异不大,其它施工阶段的差异较明显;将一个施工周期划分为竖向构件施工、搭支撑、水平构件施工及拆支撑四个施工阶段,各阶段施工期可变荷载标准值的建议取值分别为 1.894 kN/m^2 、 1.653 kN/m^2 、 1.295 kN/m^2 、 1.891 kN/m^2 .

关键词:施工期;可变荷载;调查统计分析;标准值;概率分布类型

中图分类号:TU312

文献标志码:A

文章编号:1006-7930(2018)01-0037-08

Investigation and statistical analysis of variable loads of shear wall structures during construction

ZHANG Chengzhong, PENG Gang, HU Xiaopeng, ZHU Yong

(School of Civil Engineering, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China)

Abstract: In past three years, variable loads of five shear wall structures during construction were investigated in Xi'an. Different statistical methods were conducted to analyse the survey results, and the change regularity of variable loads with the construction process were studied. The impact of statistical methods, building layout and construction company on variable loads during construction was analyzed. Recommended values of variable loads standard value during the construction were given, and its were compared with other results. The results show that the investigation results of the variable loads during the construction are in accordance with extreme value I distribution or exponential distribution. Different project's variable loads during construction has the same change regularity, the maximum load appears in steel bar binding or support demolition phase, the minimum load appears in concrete pouring stage. The smaller the statistical samples are divided, the greater the value of variable load is. The more concentrated the materials stacked, the greater the difference among the standard values obtained by different methods is. With the building area increase, the variable loads of building vertical component phase are greater, and the variable loads of building horizontal component phase increase first and then decrease. The construction company has little effect on the variable loads in concrete pouring stage, but the effect on other stages is obvious. A construction cycle are divided into four stages as vertical component construction, support building, horizontal component construction and support demolition, the recommended values of the variable loads during construction at each stage are 1.894 kN/m^2 , 1.653 kN/m^2 , 1.295 kN/m^2 , 1.891 kN/m^2 .

Key words: construction period; variable loads; investigation and statistical analysis; standard value; type of probability distribution

施工期钢筋混凝土结构安全事故时有发生,给人民生命财产安全造成了巨大的损害,施工期荷载控制不当是造成施工安全事故频发的主要诱

因之一. 与正常使用阶段的荷载相比,施工期混凝土结构荷载更为复杂,具有明显的时变性和随机性. 目前,国内外相关施工规范给出了混凝土

收稿日期:2017-01-03

修改稿日期:2017-12-12

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51308441,51678473);陕西省自然科学基金研究计划(2016JM5073)

第一作者:张成中(1974-),男,博士,副教授,主要从事施工期混凝土结构可靠性研究. E-mail: chengzhongzhang@126.com

结构施工期荷载取值,但其多是基于20世纪七八十年代、本世纪初前几年的施工期荷载调查统计分析结果给出的^[1-2],与现有的结构类型、模板和支撑形式、施工周期等施工技术工艺已严重不符,施工期荷载特征值、概率分布类型、随施工进度变化规律也发生了较大的变化,施工荷载的及时修正成为影响建筑结构施工安全的重要因素。

近三年,课题组通过对西安市五个在建混凝土剪力墙结构的施工荷载进行调查统计分析,研究施工期可变荷载特征参数(标准值、概率分布类型等)随施工过程的变化规律,分析统计分析方法、建筑布局、施工单位等因素对施工期可变荷载的影响,给出施工期混凝土结构可变荷载标准值的建议取值,并与相关研究成果进行对比分析。

1 调查概况

以西安市五个在建剪力墙结构为荷载调查对象,课题组对施工期混凝土结构的可变荷载进行调查,结构设计用途为普通住宅,选取调查对象时考虑了建筑布局、施工单位等因素的差异。

1.1 工程概况

工程一:西安市某在建18层剪力墙结构住宅,抗震设防烈度为7度(0.15g),标准层层高为3m,每层设两个单元,每单元两户,每户面积为90m²。支撑体系为插扣式脚手架体系,墙、梁模板采用组合式钢模板,板模板为18mm厚的木质胶合板。结构主体施工采用3层支撑形式,每层的施工周期约为7d(从施工放线至本层顶板混凝土浇筑完)。建筑施工时每层以一个单元为一个工作面,荷载调查时选取其中一个工作面作为调查区域。建筑平面布置图及调查区域(图中阴影部分)见图1。

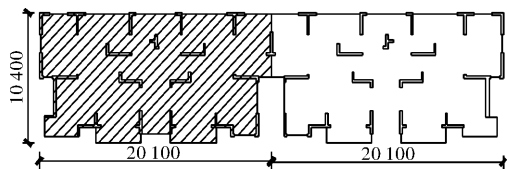


图1 工程一建筑平面布置及调查区域图(单位:m)

Fig. 1 Building layout and investigation area of Project one(unit: m)

工程二:除每户面积为150m²外,其他情况与工程一完全相同。建筑平面布置图及调查区域(图中阴影部分)见图2。

工程三:除施工单位不同于工程二外,其他情况与工程二完全相同。

工程四:除施工单位及户型不同于工程三外,

其他情况与工程三完全相同。

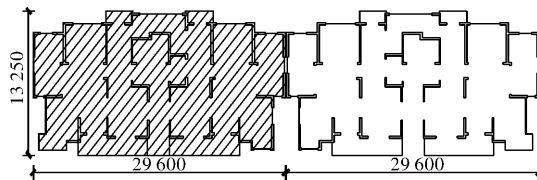


图2 工程二建筑平面布置及调查区域图(单位:m)

Fig. 2 Building layout and investigation area of Project two(unit: m)

工程五:在建11层剪力墙结构,每层设两个单元,每单元一户,每户面积为220m²。其他情况与工程一完全相同。建筑平面布置图及调查区域(图中阴影部分)见图3。

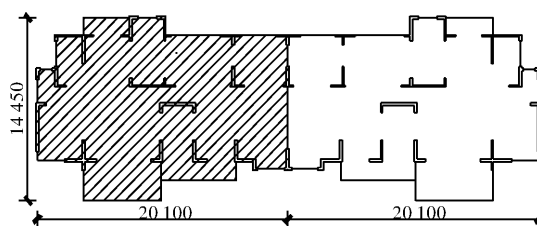


图3 工程五建筑平面布置及调查区域图(单位:m)

Fig. 3 Building layout and investigation area of Project five(unit: m)

1.2 调查内容

钢筋混凝土结构施工期荷载分为永久荷载、可变荷载和偶然荷载。其中,可变荷载变化极大,主要包括施工人员重量、施工设备重量及可能产生的动荷载、材料堆积荷载、浇筑混凝土时的冲击荷载、振捣混凝土时的振动荷载等^[3]。

施工期剪力墙结构的施工工序大致为:①放线→②绑墙钢筋→③支墙模板→④浇墙混凝土→⑤设满堂支撑→⑥拆墙模板→⑦支梁板模板→⑧绑梁板钢筋→⑨浇梁板混凝土→⑩过一段时间后拆除支撑及梁板模板。工序①~④及⑥为竖向构件施工阶段,工序⑤为支设满堂支撑阶段,⑦~⑨为水平构件施工阶段,工序⑩为拆除支撑及梁板模板阶段。

随着施工进程的发展,剪力墙结构的可变荷载类型、大小及分布不断发生变化。钢筋绑扎阶段可变荷载主要为钢筋堆载、施工设备重量、施工人员重量等;模板支设阶段的可变荷载主要包括模板堆载、施工设备重量、施工人员重量等,钢筋自重此时已转变为永久荷载;搭设支撑阶段的可变荷载主要包括架管的堆载、施工人员重量、施工设备重量等;混凝土浇筑阶段的可变荷载主要包括浇筑混凝土时的冲击荷载及振捣混凝土时的振动荷载、施工人员重量、施工设备重量等;

拆除支撑阶段的可变荷载主要包括架管及模板的堆载、施工设备重量、施工人员重量等。

本次荷载调查时,重点记录堆载材料、施工设备在施工面上的种类、规格、数量、具体位置和所占面积等。图4给出了工程二搭设支撑阶段的荷载调查平面图,其中1-立杆-7.077 kN表示1位置处堆放材料立杆且堆载大小为7.077 kN。

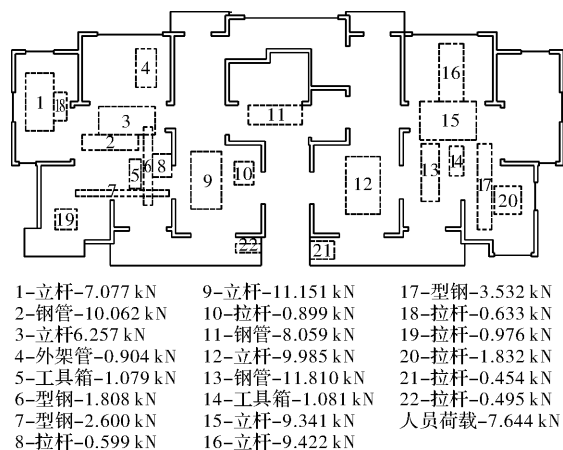


图4 工程二搭设支撑阶段荷载调查平面图

Fig. 4 Survey plan of project two at support building stage

2 荷载统计分析方法

为了充分利用调查资料,从不同角度反映施工期荷载的变化规律,国内外专家学者提出 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 面积平均荷载法、 $3\text{ m} \times 3\text{ m}$ 面积平均荷载法、单位板带法和单位面积平均荷载法等多种荷载统计分析方法^[4]。

(1) $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 面积平均荷载法

也称为 1 m 方格法,即将荷载平面分布图按 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 的方格进行划分,每个方格上的总荷载除以面积(1 m^2)得到该方格的荷载值(kN/m^2),此荷载值即为1个统计样本值。对每个方格得到的样本值进行统计分析,计算出工作面的荷载标准值。

(2) $3\text{ m} \times 3\text{ m}$ 面积平均荷载法

也称为 3 m 方格法,即将荷载平面分布图按 $3\text{ m} \times 3\text{ m}$ 的方格进行划分,每个方格上的总荷载除以面积(9 m^2)得到该方格的荷载值(kN/m^2),此荷载值即为1个统计样本值。对每个方格得到的样本值进行统计分析,计算出工作面的荷载标准值。

(3) 单位板带面积平均荷载法

也称为单位板带法,即将荷载调查平面图划分为 1 m 宽的板带。为了使统计时样本容量更大,划分板带时常选择宽度较大的方向进行板带划分。取每条板带作为一个单元,将该单元内的总荷载除以板带面积作为该单元的荷载值(kN/m^2),统

计分析时将每个板带得到的荷载值作为1个样本,计算出工作面的荷载标准值。

(4) 单位面积平均荷载法

又称荷载密度法。将工作面上的所有荷载值除以总作用面积,计算出工作面上的荷载标准值。采用荷载密度法分析时,每个荷载调查平面图仅能得到一个数值,无法基于概率理论进行统计分析。

课题组采用这四种方法对本次施工期可变荷载的调查结果进行统计分析。

3 荷载统计分析基本假定

与正常使用阶段相比,施工期荷载的大小、分布、传递等更为复杂。参考目前的荷载统计分析方法,结合本次调查统计的实际情况,本文在进行施工期可变荷载统计分析时采用了以下假定进行简化处理。

(1)仅考虑本层直接作用的荷载,不考虑上层或上几层通过楼板、支撑传递下来的荷载。

(2)本次调查的剪力墙结构墙模板均采用的是组合钢模板,支墙模时直接从刚拆除下来的下层模板体系直接吊送至施工工作面相应位置处,墙模自重竖向传递、直接由下层墙承担,墙模自重对施工期结构安全的影响较小,本次分析时不考虑墙模板在支模阶段的自重。

(3)堆放在满堂支撑架体系上的堆载认为垂直传递作用至楼面上,即不考虑荷载通过支撑体系传递后的分散作用。

(4)钢筋在绑扎前、混凝土在浇筑振捣成型前钢筋与混凝土自重认定为可变荷载,钢筋绑扎完成后、混凝土浇筑完成后认为其转变为永久荷载;支撑模板体系搭设过程中、拆除过程中支撑模板体系自重认定为可变荷载,搭设完成后、拆除前认为其转变为永久荷载。

(5)由于施工人员在工作面上所处位置具有很大的随机性,调查时仅记录工作面上施工人员数量,考虑人员荷载时取 $65\text{ kg}/\text{人}$ 并将工作面上所有人员荷载平均到工作面上,作为人员荷载标准值。按各种统计分析方法分别计算出各施工阶段堆积荷载标准值后加上人员荷载标准值,作为各施工阶段施工期可变荷载标准值。

(6)零荷载的处理^[5]。统计分析时将无荷载的单元称为零荷载单元,否则称为非零荷载单元。考虑零荷载单元的影响后的分布函数表达式为

$$F(x) = p_0 + (1 - p_0) \cdot F_0(x) \quad (1)$$

式中: p_0 为零荷载单元率,且 $p_0 = N_0/N$; N_0 为

零荷载单元的个数; N 为区格单元总数; $F_0(x)$ 为通过单样本 K-S 检验的非零荷载样本的分布函数。

4 施工期可变荷载的统计分析

4.1 施工期可变荷载的统计分析示例

以下以 1 m 方格法统计分析工程二搭支撑阶段的施工期可变荷载为例说明本文施工期可变荷载的统计分析过程。

采用 1 m 方格法对工程二搭支撑阶段的调查结果进行处理, 共得到 139 个非零荷载样本值 ($n=139$), 图 5 给出了工程二搭支撑阶段的非零荷载统计直方图。从图中可以看出: 1 m 方格法处理下, 工程二搭支撑阶段施工期可变荷载的分布具有指数分布的基本特征, 故假定施工期可变荷载符合指数分布, 其相应的分布函数表达式为

$$F_0(x) = 1 - \exp(-\lambda x) \quad (2)$$

式中, λ 为指数分布参数。

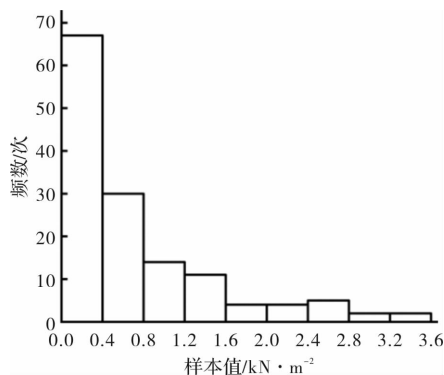


图 5 工程二搭支撑阶段非零荷载统计直方图

Fig. 5 Bar chart of non-zero load of Project two at support building stage

利用点估计法[6]计算出此时刻的可变荷载的均值 μ 、标准差 S 、变异系数 δ 分别为 0.723 kN/m²、0.766 kN/m²、1.059, 则指数分布参数 λ 为: $\lambda = 1/\mu = 1.383$ 。

将 λ 代入式(2)可得非零荷载样本的指数分布函数的表达式

$$F_0(x) = 1 - \exp(-1.383x) \quad (3)$$

用单样本 K-S 检验法[7]检验分布函数的显著性, 取信度取 0.05。则

$$D_n = \max D_n(x_{(i)}) = 0.067$$

查 K-S 检验临界值表[8], 可得 D_n 的临界值为: $D_{n,0.05} = 1.36/\sqrt{n} = 0.112$, 将两者进行对比, $D_n < D_{n,0.05}$, 则工程二搭支撑体系阶段荷载样本值不拒绝服从指数分布这一假设。

采用 1 m 方格法统计分析工程二搭支撑阶段时的零荷载单元率 $p_0 = 0.605$ 。由式(1)可得考虑

零荷载单元影响后的施工期可变荷载的概率分布函数表达式为

$$F(x) = 1 - 0.3949 \cdot \exp(-1.383x) \quad (4)$$

参照结构正常使用阶段荷载标准值的取法(标准值为具有 95% 保证率的偏大荷载值), 可以计算出工程二搭支撑阶段施工期可变荷载标准值 x_0 。

$$F(x_0) = P(x \leq x_0) = 1 - 0.395 \times \exp(-1.383x) \geq 0.95 \quad (5)$$

求解式(5), 考虑人员荷载影响后可得工程二搭支撑阶段施工期可变荷载的标准值为 $x_0 = 1.518$ kN/m²。

4.2 施工期可变荷载的统计分析结果

参照上述的分析方法, 分别采用 1 m 方格法、3 m 方格法、单位板带法、荷载密度法统计分析工程一~工程五各施工阶段的施工可变荷载标准值和概率分布类型。各工程施工期可变荷载的调查统计分析结果(可变荷载标准值及概率分布类型)见图 6, 从图中可以分析随施工过程统计分析方法、施工单位、建筑布局等因素对施工期可变荷载的影响规律。统计分析结果表明: 无论采用哪种统计方法, 各工程施工期可变荷载的调查结果均服从极值 I 型分布或指数分布。图 6 中实心点表示采用此统计方法时施工期可变荷载调查结果服从极值 I 型分布, 空心点表示服从指数分布。

4.2.1 随施工过程施工期可变荷载的变化规律

(1) 一个施工周期内, 各工程施工期可变荷载的变化规律基本相同。荷载最大值常出现在绑扎墙、梁钢筋或拆支撑阶段, 最小值多出现在混凝土浇筑阶段, 这与施工时的实际堆载情况基本相符。绑扎墙、梁钢筋阶段工作面上堆积大量钢筋; 支撑搭设阶段工作面上主要堆积的是大量钢管; 支撑拆除阶段工作面上除了堆积的钢管外还堆积了大量木枋及木质胶合板。所以这几个阶段的可变荷载均较大, 而混凝土浇筑阶段的荷载仅包括浇筑混凝土时的冲击荷载及振捣混凝土时的振动荷载、施工人员重量、施工设备重量等, 混凝土浇筑阶段的施工期可变荷载值明显小于其它施工阶段。

(2) 本次调查统计分析的施工期可变荷载样本值大多服从指数分布, 少数服从极值 I 型分布。不同施工阶段施工期可变荷载概率分布类型未呈现明显的变化规律。

4.2.2 不同统计分析方法统计分析结果的对比

(1) 样本单元划分越细, 所得样本数量越多, 统计分析得到的可变荷载标准值越大; 而当样本单元面积接近时, 样本单元的形状对统计分析所

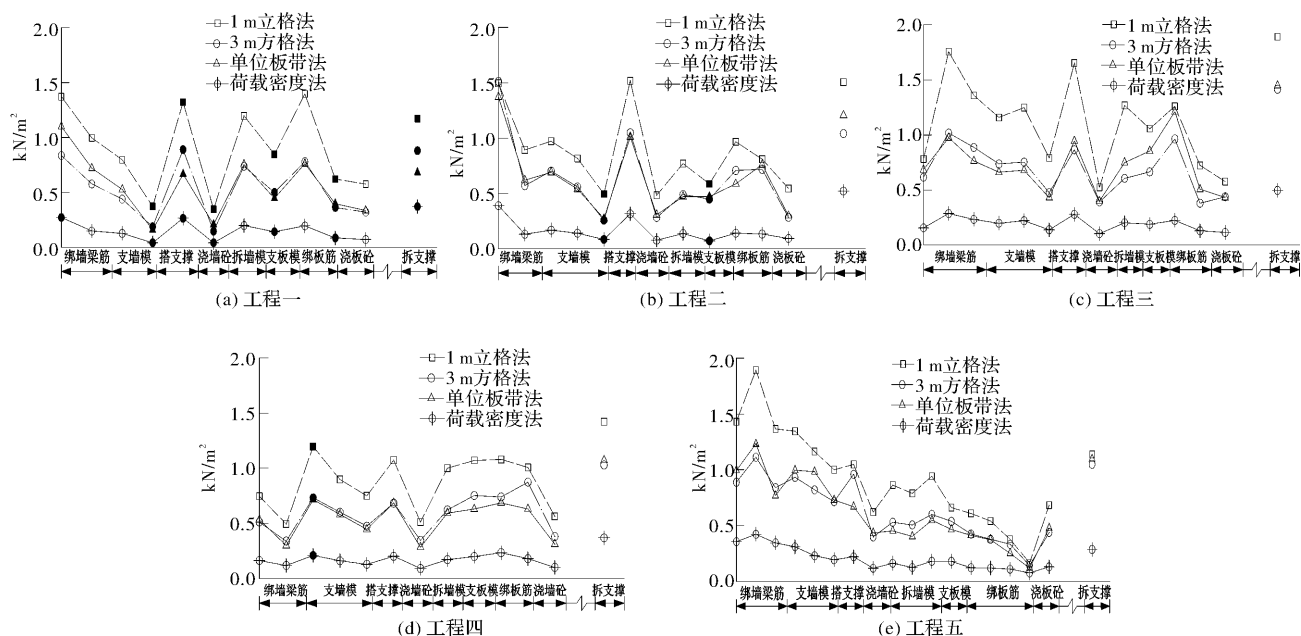


图6 施工期可变荷载的统计分析结果

Fig. 6 Statistical analysis results of variable loads during construction

得可变荷载标准值的影响不大. 这一结论与 H Ayoub^[5]的研究成果一致.

从图6可以看出,对同一个工程某一时刻的可变荷载进行统计分析时,由1m方格法统计分析得到的施工期可变荷载标准值最大,3m方格法、单位板带法统计分析结果接近,荷载密度法的分析结果最小.如工程一采用1m方格法、3m方格法、单位板带法、荷载密度法时的单元面积分别为1m²、9m²、10.8m²、170m²,相应的统计样本数分别为188个、28个、20个、1个,整个施工过程中1m方格法、3m方格法、单位板带法得到的可变荷载标准值分别是荷载密度法的3.6~8.7倍(均值6.51)、2.4~4.5倍(均值3.69)、1.8~4.9倍(均值3.87).

(2)工作面上施工材料堆放越集中,由不同统计分析方法所得的施工期可变荷载标准值的差异越大.随着施工过程来看,与其他施工阶段相比,绑墙、梁钢筋、搭支撑和拆支撑阶段工作面上堆放的施工材料(钢筋、钢管与扣件)较多且堆放较集中,四种统计分析方法计算所得的可变荷载值差异较大.比如,对于工程二搭支撑阶段,1m方格法、3m方格法、单位板带法、荷载密度法计算所得的施工期可变荷载标准值分别为1.518 kN/m²、1.074 kN/m²、1.011 kN/m²、0.316 kN/m².

(3)利用不同统计分析方法对同一工程的某一时刻进行统计分析时,除工程一绑墙筋阶段可变

荷载样本值服从的概率分布类型不全相同外,其他工程所得的施工期可变荷载样本值均服从相同的概率分布类型.

(4)利用不同统计分析方法得到的各工程施工期可变荷载的变化规律基本相同.如工程一,1m方格法、3m方格法、单位板带法、荷载密度法分析得到的施工期可变荷载的最大值分别为1.365 kN/m²、0.836 kN/m²、1.100 kN/m²、0.271 kN/m²,均出现在绑墙、梁钢筋阶段;最小值分别为0.351 kN/m²、0.147 kN/m²、0.207 kN/m²、0.041 kN/m²,均出现在浇墙砼阶段.

4.2.3 不同建筑布局结构统计分析结果的对比

工程一、工程二和工程五的施工单位相同,仅建筑布局不同(户内面积约为90m²、150m²、220m²),图7给出了1m方格法这三个工程施工期可变荷载的变化规律.从图中可以看出:

(1)在竖向构件施工阶段,户内面积越大,施工期可变荷载标准值越大.这是因为剪力墙施工阶段受剪力墙位置的限制施工工作面相对分散,户内面积大的结构施工时需要的材料较多,工作面上的材料堆载较集中.

(2)在水平构件施工阶段,户内面积150m²的施工期可变荷载标准值最大,90m²的荷载标准值次之,220m²的荷载标准值最小.这是因为虽然户内面积大的结构施工时需要的材料较多,但楼板施工阶段工作面相对空旷,网格划分存在的零荷载单元较多,统计分析时导致施工期可变荷载

值减小.

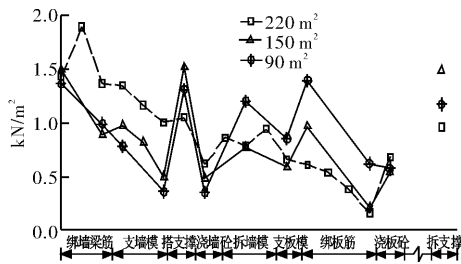


图 7 不同建筑布局施工期可变荷载的对比

Fig. 7 Comparison of variable loads during construction in different building layout

4.2.4 不同施工单位统计分析结果的对比

工程二、工程三、工程四的建筑布局(户内面积均为 150 m^2)、施工工艺等条件相同,仅施工单位不同.图 8 给出了 1 m 方格法下这三个工程的施工期可变荷载的变化规律.从图 8 可以看出:

(1)不同施工单位施工的三个工程施工期可变荷载最大值均出现在支撑体系的拆除阶段,最小值均出现在墙混凝土浇筑阶段.

(2)不同单位施工的三个工程除混凝土浇筑阶段(包括浇墙混凝土、浇板混凝土)的施工期可变荷载标准值的差异较小外,其它施工阶段的差异均较大.这是因为在建筑布局相同的情况下,各施工单位在混凝土浇筑阶段的混凝土单位面积用量及施工时的堆放规律基本相同,而其他施工阶段钢管、扣件、模板等材料堆放的随机性很大.

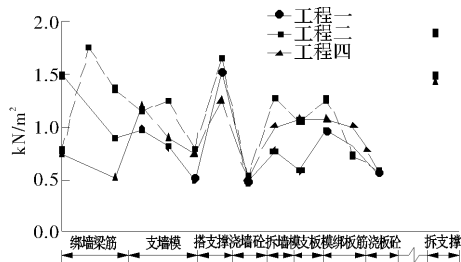


图 8 不同施工单位施工期可变荷载的对比

Fig. 8 Comparison of variable loads during construction in different construction companies

4.2.5 剪力墙结构施工期可变荷载标准值的建议值

与正常使用阶段相比,影响施工期安全的因素更多,随机性更大,施工期可变荷载的取值应按偏安全考虑.本文分竖向构件施工、搭支撑、水平构件施工及拆支撑四个施工阶段,分别选取各工程、不同统计方法下的各施工阶段可变荷载标准值的最大值作为该阶段施工期可变荷载的建议取值.具体结果见表 1.

表 1 施工期可变荷载标准值的建议值

Tab. 2 Recommended values of variable loads standard values during construction

施工阶段	竖向构件施工	搭支撑	水平构件施工	拆支撑
建议值/ $\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}$	1.894	1.653	1.295	1.891

5 与其它研究成果的对比分析

多年来,国内外学者通过对钢筋混凝土结构施工期可变荷载的调查,采用一种或多种统计分析方法给出了各施工阶段可变荷载的特征参数(包括均值、标准差、变异系数、概率分布类型等),并基于概率分析理论计算出相应的标准值.在计算标准值的基础上出于施工安全的考虑对计算标准值进行不同程度的放大,给出混凝土结构施工期可变荷载标准值的建议取值^[9-16],见表 2 所示.

国内外不少规范标准对钢筋混凝土结构施工期可变荷载取值作出了相应规定,如《建筑施工安全技术统一规范》(GB50870-2013)给出^[1]的施工活荷载标准值为 2.5 kN/m^2 ; BS5975-2008 规定^[2]施工活荷载标准值取为 1.5 kN/m^2 ;《Recommended safety requirement for shoring concrete formwork》建议施工荷载取 0.96 kN/m^2 ; ACI347R-2014 规定^[17]模板设计时施工活荷载最小值为 2.4 kN/m^2 ;《建筑施工模板安全技术规范》(JGJ162-2014)规定^[18]一般情况下施工活荷载标准值取 1.0 kN/m^2 ,当模板上有大型布料设备时取 4.0 kN/m^2 .

将本文计算所得的施工期可变荷载标准值与其他学者的研究结论相比较.不难发现,本文统计分析所得的施工期可变荷载值与其他学者的研究成果存在一定的差异,分析认为造成差异的原因主要有五点:

(1)调查工作进行的年代不同.各年代的施工工艺、施工技术、施工周期尤其是支撑形式、模板形式、混凝土浇筑方法发生了较大变化,早期的调查统计结果对目前的施工指导意义不大.

(2)采用的统计分析方法不同.目前对施工期可变荷载的统计分析方法尚未统一.

(3)基本假定的选取不同.施工期可变荷载的大小、分布较为复杂,统计分析时往往需要采用一些基本假定对其进行简化,但目前对基本假定的选取尚未形成一致认识.

(4)施工期可变荷载的随机性大,仅通过对单

个或少量工程调查统计而提出的施工期可变荷载标准值的建议取值较片面，不能反映目前施工的普遍水平。

(5)施工周期的划分不同。目前部分研究成果是对整个施工周期给出一个统一的施工期可变荷载标准值取值，统一取值不能反映施工期荷载多变的特点；部分研究成果将一个施工周期分为支设模板、绑扎钢筋、浇筑混凝土和拆除模板四个

阶段，这种划分方式并不能真实的反映目前的施工过程，如绑扎钢筋阶段往往又分为绑扎竖向构件钢筋和绑扎水平构件钢筋两个工序，两者荷载值存在一定差异，且两个施工工序在时间上并不连续。本文将一个施工周期分为竖向构件施工、搭支撑、水平构件施工、拆支撑四个施工阶段更能反映目前的实际施工过程，也便于各施工过程的施工安全控制。

表 2 国内外施工期可变荷载的统计结果汇总

Tab. 2 Summary of statistical results of variable loads during construction at home and abroad

作者	时间	调查对象	统计方法	服从分布	计算标准值/ $\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}$	
H Ayoub 等 ^[5]	1994 年	位于 12 个城市的 30 余个工程	1 ft 方格法	指数分布	2.1	
			5 ft 方格法	对数正态分布	1.7	
			10 ft 方格法	对数正态分布	1.3	
苗吉军等 ^[9]	2002 年	45 幢混凝土结构 (包括框-剪、框架、 剪力墙及框筒结构等)	板带等效均 布荷载法	指数分布	模板支撑阶段	2.94
					混凝土浇筑阶段	1.18
					放线、绑扎阶段	2.53
					模板拆除阶段	2.46
张传敏等 ^[10]	2002 年	涉及 10 个工程	3 m 方格法	指数分布	1.0	
赵挺生等 ^[11]	2005 年	单个框-剪结构	实测模板支 架内力	伽马分布	构件有效承载面积 $A < 1 \text{ m}^2$ 时取 4.8	
					$A > 15 \text{ m}^2$ 时取 2.5	
赵楠等 ^[12]	2006 年	单个框架结构	板带等效均 布荷载法	指数分布	支设模板	1.86
					绑扎钢筋	2.45
					浇筑楼板	1.55
					拆除模板	2.66
简超军等 ^[13]	2015 年	单个框架结构	3 m×2 m 区格法	指数分布	2.64	
谢楠等 ^[14]	2012 年	/	影响面法	/	1.5	
梅源等 ^[15]	2010 年	20 余个钢筋混凝土结构	3 m 方格法	指数分布	1.5	
赵军等 ^[16]	2010 年	单个框架结构	3 m 方格法	指数分布	模板支撑	2.13
					钢筋绑扎	2.79
					混凝土浇筑	0.96
					模板拆除	1.86

6 结论

(1)各工程施工期可变荷载的调查结果均服从极值Ⅰ型分布或指数分布。

(2)各工程的施工期可变荷载随施工过程的变化规律基本相同，施工期可变荷载的最大值常出现在绑扎钢筋或拆支撑这两个阶段，最小值大多出现在浇筑混凝土阶段。

(3)统计样本单元划分越细，分析得到的可变

荷载标准值越大；工作面上材料堆放越集中，不同统计分析方法所得的施工期可变荷载标准值的差异越大。

(4)建筑布局不同时，户内面积越大，竖向构件施工阶段的施工期可变荷载值越大；但水平构件施工阶段，户内面积 150 m² 的施工期可变荷载标准值最大，90 m² 的次之，220 m² 的最小。

(5)由不同施工单位施工的各工程在浇筑混凝土阶段的施工期可变荷载值差异不大，而其它施

工阶段可变荷载值差异明显。

(6)将一个施工周期划分为竖向构件施工、搭支撑、水平构件施工及拆支撑四个施工阶段,各阶段施工期可变荷载标准值的建议取值分别为 1.894 kN/m^2 、 1.653 kN/m^2 、 1.295 kN/m^2 、 1.891 kN/m^2 。

参考文献 References

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑施工安全技术统一规范:GB50870-2013[S]. 北京:中国计划出版社,2013.
Ministry of Housing and Urban-rural Development of the People's Republic of China. Unified code for safety technology in construction: GB50870-2013 [S]. Beijing: China Planning Press, 2013.
- [2] BSI. Code of practice for falsework: BS5975-2008 [S]. London: British Standards Institution, 2008.
- [3] 赵国藩. 工程结构生命全过程可靠度[M]. 北京:中国铁道出版社, 2004.
ZHAO Guofan. Life-cycle reliability degree in engineering structures [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2004.
- [4] 胡航. 建筑施工期活荷载统计分析及其荷载效应影响面分[D]. 北京:北京交通大学, 2009.
HU Hang. Survey results for concrete construction live loads and analysis of load effects using influence surface[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2009.
- [5] AYOUB H, KARSHENAS S. Survey results for concrete construction live loads on newly poured slabs [J]. Journal of Structural Engineering, 1994, 120(5): 1543-1562.
- [6] 汪荣鑫. 数理统计[M]. 西安:西安交通大学出版社, 2002.
WANG Rongxin. Mathematical statistics [M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 2002.
- [7] 吴世伟. 结构可靠度分析[M]. 北京:人民交通出版社, 1990.
WU Shiwei. Analysis of structural reliability [M]. Beijing: People's Communication Press, 1990.
- [8] 李继华,林中民,李明顺,等. 建筑结构概率极限状态设计[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 1990.
LI Jihua, LIN Zhongmin, LI Mingshun, et al. Probabilistic limit state design of building structure [M]. Beijing: China Building Industry Press, 1990.
- [9] 苗吉军,顾祥林,方晓铭. 高层建筑混凝土结构施工活荷载的统计分析[J]. 建筑结构, 2002, 32(3): 7-9.
MIAO Jijun, GU Xianglin, FANG Xiaoming. On-site measure and statistic of live construction load of high-rise concrete buildings [J]. Building Structure, 2002, 32(3): 7-9.
- [10] 张传敏,方东平,耿川东. 钢筋混凝土结构施工活荷载现场调查与统计分析[J]. 工程力学, 2002, 19(5): 62-66.
ZHANG Chuanmin, FANG Dongping, GENG Chuan-dong. In situ investigation and statistical analysis of live loads of reinforced concrete buildings during construction [J]. Engineering Mechanics, 2002, 19(5): 62-66.
- [11] 赵挺生,李树逊,顾祥林. 混凝土房屋建筑施工活荷载的实测统计[J]. 施工技术, 2005, 7(3): 63-65.
ZHAO Tingsheng, LI Shuxun, GU Xianglin. On-site measure and statistic of live construction load of concrete buildings [J]. Construction Technology, 2005, 7(3): 63-65.
- [12] 赵楠. 多层钢筋混凝土框架结构施工期可靠性分析[D]. 西安:西安建筑科技大学, 2008.
ZHAO Nan. Reliability analysis of multi-storey R. C. frame structure in construction period [D]. Xi'an: Xi'an University of architecture and technology, 2008.
- [13] 简超军,胡长明,叶正武. 大跨度框架结构施工期活荷载现场调查与统计分析[J]. 施工技术, 2015, 44(15): 32-34.
JIAN Chaojun, HU Changming, YE Zhengwu. In situ investigation and statistical analysis of live loads of large span frame structure during construction [J]. Construction Technology, 2015, 44(15): 32-34.
- [14] 谢楠,梁仁钟,胡杭. 基于影响面的混凝土浇筑期施工荷载研究[J]. 工程力学, 2011, 28(10): 173-178.
XIE Nan, LIANG Renzhong, HU Hang. Analysis of construction loads on formwork during concrete placement based on influence surface [J]. Engineering Mechanics, 2011, 28(10): 173-178.
- [15] 梅源,胡长明,周正永,等. 高大模板支撑体系在结构施工期内所受荷载统计分析[J]. 工业建筑, 2010, 40(2): 41-46.
MEI Yuan, HU Changming, ZHOU Zhengyong, et al. Statistical analysis of loads of supporting structure for tall and large falsework during construction [J]. Industrial Construction, 2010, 40(2): 41-46.
- [16] 赵军,杨玉林. 钢筋混凝土结构施工期活荷载统计与分析[J]. 桂林理工大学学报, 2010, 30(3): 356-359.
ZHAO Jun, YANG Yulin. Statistics analysis of live loads for reinforced concrete buildings construction [J]. Journal of Guilin University of Technology, 2010, 30(3): 356-359.
- [17] ACI. Guide to Formwork for Concrete: ACI347R-2014[S]. Farmington Hills, USA: American concrete institute, 2014.
- [18] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑施工模板安全技术规范:JGJ162-2014[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2014.
Ministry of Housing and Urban-rural Development of the People's Republic of China. Technical code for safety of forms in construction: JGJ162-2014 [S]. Beijing: China Architecture & building press, 2013.

(编辑 桂智刚)