

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2019.02.007

施工期混凝土结构可变荷载的调查统计分析

胡晓鹏,彭刚,张成中,朱勇

(西安建筑科技大学土木工程学院,陕西 西安 710055)

摘要:对西安市及周边地区 6 个在建混凝土结构的施工期可变荷载进行了调查,采用不同的统计分析方法对调查结果进行统计分析,研究施工期可变荷载随施工过程的变化规律,对比了剪力墙结构和框架结构施工期可变荷载的差异,给出了混凝土结构施工期可变荷载标准值的建议取值,并与相关研究成果和现行规范进行了对比分析。研究表明: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;结构类型相同的工程施工期可变荷载随施工过程的变化规律基本相同;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;竖向构件施工阶段剪力墙结构的施工期可变荷载值明显大于框架结构,其他阶段 2 种结构施工期可变荷载值较接近;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 4 个施工阶段,混凝土结构各阶段施工期可变荷载标准值的建议取值分别为 1.894 kN/m²、1.716 kN/m²、1.295 kN/m²、1.998 kN/m²。

关键词:施工期;可变荷载;调查统计分析;结构类型;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:1000-1980(2019)02-0131-07

Investigation and statistical analysis of variable loads of concrete building during construction

HU Xiaopeng, PENG Gang, ZHANG Chengzhong, ZHU Yong

(School of Civil Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: In past three years, variable loads of six structures during the construction were investigated in Xi'an and its surrounding areas. Different statistical methods were adopted to analyze the surveyed data, and the change regularities of variable loads during the construction process were obtained. Besides, the difference of variable loads between shear wall structure and frame structure during the construction were analyzed as well. Based on the statistical results of two structure types, recommended standard values of variable loads during construction were given and compared with other researches and current codes. The results show that variable loads during the construction are in accordance with extreme value-I distribution or exponential distribution. The variable loads of a same structural type has the same change regularities during the construction. Meanwhile, the smaller the statistical samples are divided, the greater the value of variable loads is, and the more concentrated the materials stack, the greater the difference among the standard values obtained by different methods is. In the building stage of vertical components, variable loads of a shear wall structure was greater than that of a frame structure, but values are close in other stages. A construction cycle can be divided into four stages, as vertical component construction, support building, horizontal component construction and support demolition, where the recommended values of variable loads are 1.894 kN/m², 1.716 kN/m², 1.295 kN/m², and 1.998 kN/m², respectively.

Key words: construction cycle; variable load; investigation and statistical analysis; structural type; standard value; type of probability distribution

基金项目: 国家自然科学基金(51308441,51678473);陕西省自然科学基金基础研究计划(2016JM5073)
作者简介: 胡晓鹏(1980—),男,副教授,博士,主要从事施工期混凝土结构可靠性研究。E-mail:shs339@sina.com
引用本文: 胡晓鹏,彭刚,张成中,等. 施工期混凝土结构可变荷载的调查统计分析[J]. 河海大学学报(自然科学版),2019,47(2):131-137.
HU Xiaopeng, PENG Gang, ZHANG Chengzhong, et al. Investigation and statistical analysis of variable loads of concrete building during construction[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences),2019,47(2):131-137.

施工期荷载调查统计分析是施工期混凝土结构可靠性研究的重要内容,也是模板支撑体系设计的重要依据,对施工期结构的安全控制具有重要的理论意义。20 世纪七八十年代、21 世纪初,国内外专家学者对施工期混凝土结构荷载进行了调查统计分析,给出了施工荷载的建议取值,为相关施工规范的修订提供了数据支撑^[1]。然而,随着经济建设的快速发展,混凝土结构的施工工艺、施工技术、施工材料、施工周期均有了很大变化^[2],新的支撑形式、模板形式不断涌现,造成混凝土结构施工期荷载特征值、概率分布类型、随施工进度变化规律发生了较大变化。因此,笔者对目前的施工期混凝土结构荷载进行广泛的调查统计分析,给出符合目前施工实际情况的荷载取值,以期作为施工规范的取值修正提供数据支持。

1 调查概况

课题组近三年对西安及周边地区的 6 个在建混凝土结构工程的施工期荷载进行了调查统计分析,调查对象包括 3 个框架结构和 3 个剪力墙结构,其中剪力墙结构为同一小区不同的住宅结构,框架结构使用功能涉及厂房、办公楼、设备机房等。

1.1 工程概况

工程 1: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 3 m,每层设 2 个单元,每单元 2 户,每户面积为 150 m²。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,模板为 18 mm 厚的木质胶合板。结构主体施工采用 3 层支撑形式,每层施工周期约 7 d(从施工放线至本层顶板混凝土浇筑完)。荷载调查时选取某层 1 个单元作为调查区域。

工程 2:除施工单位及户型不同于工程 1 外,其他情况同工程 1。

工程 3:在建 11 层剪力墙结构,每层设 2 个单元,每单元 1 户,每户面积为 220 m²。其他情况同工程 1。

工程 4:咸阳市某在建 5 层框架结构办公楼,结构抗震等级为二级。支撑体系为碗扣式脚手架体系,模板均采用木质胶合板。每层面积为 1 633 m²,选取典型区域进行荷载调查,调查平面所在层层高为 4.2 m,每层施工周期约 24 d。

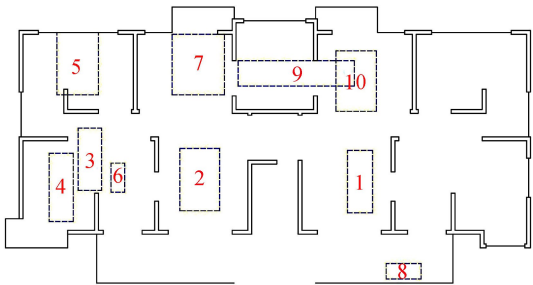
工程 5:咸阳市某在建 4 层框架结构厂房,结构抗震等级为二级。支撑体系为碗扣式脚手架体系,模板均采用木质胶合板。每层面积为 8 823 m²,选取典型区域进行荷载调查,调查平面所在层层高为 5.1 m,每层施工周期约 21 d。

工程 6:西安市某在建四层框架结构设备机房,结构抗震等级为二级。支撑体系为碗扣式脚手架体系,模板采用木质胶合板。每层面积为 5 230 m²,选取典型区域进行荷载调查,调查平面所在层层高为 5.0 m,每层施工周期约 18 d。

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,可变荷载的类型、大小及分布随施工进度不断发生变化^[3]。钢筋绑扎阶段为钢筋堆载、施工设备重量、施工人员重量等;模板支设阶段为模板堆载、施工设备重量、施工人员重量等;搭支撑阶段为架管的堆载、施工人员重量、施工设备重量等;混凝土浇筑阶段为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;拆支撑阶段载为架管、模板及木枋的堆载、施工设备重量、施工人员重量等。

荷载调查时,重点记录荷载在施工面上的种类、规格、数量、具体位置、所占面积等。图 1 给出了某时刻工程 2 搭支撑阶段的荷载调查结果。



1—钢管(9.933 kN);2—钢管(13.271 kN);3—钢管(6.974 kN);
4—木枋(3.199 kN);5—立杆(7.398 kN);6—工具箱(0.511 kN);
7—立杆(10.641 kN);8—工具箱(0.591 kN);9—外架管
(2.711 kN);10—立杆(7.534 kN);人员(2.548 kN)

图 1 可变荷载调查结果

Fig. 1 Investigation results of variable load

2 荷载统计分析方法

目前,荷载的统计分析方法有多种^[4],本文采用 1 m×1 m 面积平均荷载法、3 m×3 m 面积平均荷载法、单位板带法和单位面积平均荷载法对施工期可变荷载的调查结果进行统计分析。

- a. 1 m×1 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 m×1 m 的方格进行划分,每个方格上的总荷载除以面积(1 m²)得到该方格的荷载(kN/m²),此荷载即为 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。
- b. 3 m×3 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 m×3 m 的方格进行划分,每个方格上的总荷载除以面积(9 m²)得到该方格的荷载(kN/m²),此荷载即为 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。
- c. 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(kN/m²),统计分析时将每个板带得到的荷载作为 1 个样本,计算出工作面的荷载标准值。
- d. 单位面积平均荷载法。又称荷载密度法或荷载集度法。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。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。

3 荷载统计分析基本假定

与正常使用阶段相比,施工期结构荷载的大小、分布、传递等更复杂。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,在统计分析时采用以下假定进行简化处理。(a)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。(b)调查的剪力墙结构墙模板均采用组合钢模板,支墙模时直接从刚拆除下来的下层模板体系吊送至上层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,分析时不考虑墙模板在支模阶段的自重。(c)满堂支撑架体系上的堆载认为垂直传递作用至楼面上,不考虑荷载通过支撑体系传递后的分散作用。(d)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。(e)由于施工人员在工作面上所处位置具有很大的随机性,调查时无法准确记录人员具体位置,仅记录工作面上施工人员数量,考虑人员荷载时取 65 kg/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。将各施工阶段堆积荷载标准值与人员荷载标准值相加,作为各施工阶段施工期可变荷载标准值。(f)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。考虑零荷载单元影响后的分布函数表达式为

$$F(x) = p_0 + (1 - p_0)F_0(x)$$
 (1)

式中: $p_0 = N_0/N$ ——零荷载单元率; N_0 ——零荷载单元的个数; N ——区格单元总数; $F_0(x)$ ——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 统计分析示例

以 1 m 方格法统计分析工程 2 搭支撑阶段为例说明施工期可变荷载的统计分析过程。采用 1 m 方格法处理工程 2 搭支撑阶段的调查结果,得到 101 个非零荷载样本值($n = 101$),图 2 为工程 2 搭支撑阶段的非零荷载统计直方图。

从图 2 可以看出:1 m 方格法处理下,工程 2 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

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

式中: λ ——指数分布参数。

利用点估计法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 0.625 kN/m²、0.607 kN/m²、0.970 8,则指数分布参数 $\lambda = 1/\mu = 1.5994$ 。

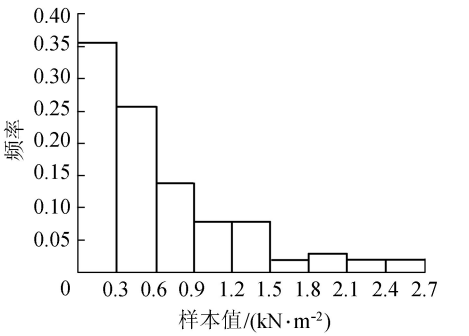


图 2 非零荷载统计直方图

Fig.2 Statistical histogram of non-zero loads

用单样本 K-S 检验法^[6]检验分布函数的显著性,结果表明,工程 2 搭支撑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 2 搭支撑阶段的零荷载单元率 $p_0=0.7255$ 。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

$$F(x)=1-0.2745\exp(-1.5994x) \tag{3}$$

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 2 搭支撑阶段施工期可变荷载标准值 x_0 。

$$F(x_0)=P(x\leq x_0)=1-0.2745\exp(-1.5994x)\geq 0.95 \tag{4}$$

求解式(4),考虑人员荷载后可得工程 2 搭支撑阶段施工期可变荷载的标准值为 $x_0=1.073\text{ kN/m}^2$ 。

4.2 施工期可变荷载的统计分析结果

参照上述分析方法,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 1~6 各施工阶段的施工可变荷载标准值和概率分布类型。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 3 给出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),其中荷载密度法仅给出了荷载标准值;图中实心点表示采用此统计方法时施工期可变荷载服从极值 I 型分布,空心点表示服从指数分布。

4.2.1 可变荷载随施工过程的变化规律

在一个施工周期内,同种结构类型施工期可变荷载变化规律基本相同。剪力墙结构的荷载最大值常出现在拆支撑阶段或绑钢筋阶段(绑墙梁筋或绑板筋),最小值大多出现在浇墙混凝土阶段;框架结构的荷载最大值出现在拆支撑阶段,最小值大多出现在浇柱混凝土阶段。这与施工时的实际堆载情况相符,剪力墙结构绑墙梁筋阶段工作面上堆放大量钢筋,搭支撑阶段板面上堆放钢管及扣件,拆支撑阶段工作面上堆积钢管、大量木楞及木质胶合板,这些阶段的可变荷载值均较大。浇墙混凝土、浇柱混凝土阶段部分荷载会直接传递给下层墙、柱承担,施工期可变荷载值较小。

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 不同统计分析方法的对比

a. 无论是何种结构类型,随施工过程整体来看,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得可变荷载标准值的影响不大。这一结论与 Ayoub 等^[5]的研究成果一致。

由图 3 可知,对于同一个工程某一时刻可变荷载,由 1 m 方格法统计分析得到的施工期可变荷载标准值最大,3 m 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 1 采用 1 m 方格法、3 m 方格法、单位板带法、荷载密度法时的单元面积分别为 1 m^2 、 9 m^2 、 10.8 m^2 、 170 m^2 ,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 1 m 方格法、3 m 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 3.8~6.3 倍(均值 5.36 倍)、2.8~5.4 倍(均值 3.64 倍)、2.9~4.3 倍(均值 3.46 倍)。

b. 工作面上施工材料堆放越集中,不同统计分析方法计算所得的施工期可变荷载标准值的差异越大。随施工过程来看,与其他施工阶段相比,绑钢筋、搭支撑、拆支撑阶段工作面上堆积的材料(钢筋、钢管与扣件)较多且堆放较集中,4 种统计分析方法计算所得的可变荷载值差异较大。如工程 2 搭支撑阶段,1 m 方格法、3 m 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 1.196 kN/m^2 、 0.732 kN/m^2 、 0.716 kN/m^2 、 0.211 kN/m^2 。

c. 不同统计分析方法对同一工程的某一施工阶段进行统计分析时,各工程所得的施工期可变荷载样本值基本服从相同的概率分布类型。

d. 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。比如工程 1,1 m 方格法、3 m 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 1.891 kN/m^2 、 1.415 kN/m^2 、 1.449 kN/m^2 、 0.497 kN/m^2 ,均出现在拆支撑阶段;最小值分别为 0.525 kN/m^2 、 0.399 kN/m^2 、 0.393 kN/m^2 、 0.105 kN/m^2 ,均出现在浇墙混凝土阶段。

4.2.3 施工期可变荷载标准值的建议取值

在施工活荷载统计分析时,国内外学者大多将一个施工周期分为模板支撑、钢筋绑扎、混凝土浇筑和模板拆除 4 个阶段,然而这种划分方式并不能真实地反映目前的施工过程,如绑扎钢筋阶段往往又分为绑扎竖

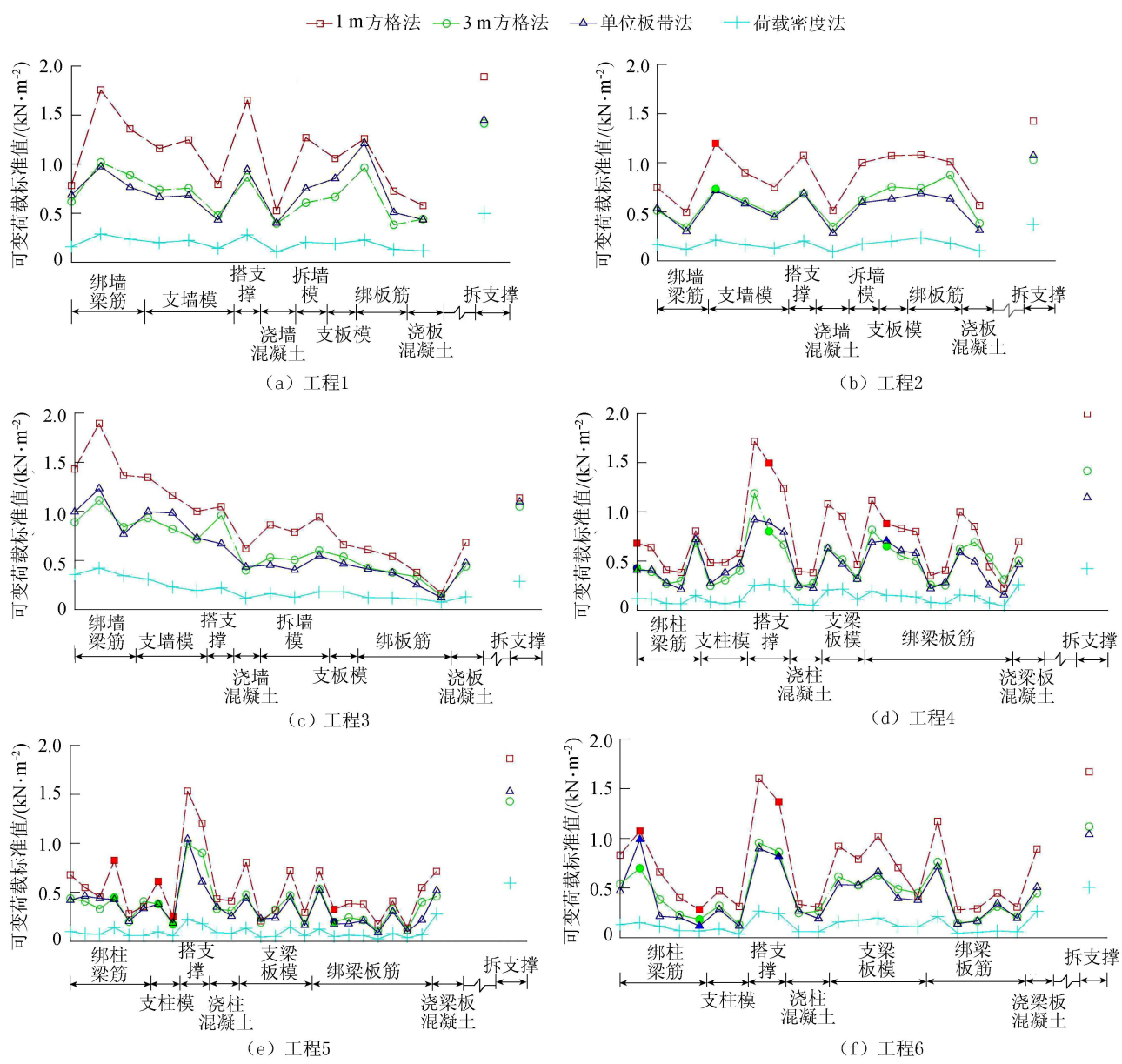


图 3 施工期可变荷载的统计分析结果

Fig. 3 Statistical results of variable loads during the construction

向构件钢筋和绑扎水平构件钢筋 2 个工序,两者荷载值存在一定差异,且 2 个施工工序在时间上并不连续。

目前,剪力墙结构和框架结构的施工工序略有差别。施工期剪力墙结构施工工序大致为:①定位放线→②绑墙筋→③支墙模→④浇墙混凝土→⑤搭支撑→⑥拆墙模→⑦支板模→⑧绑板筋→⑨浇板混凝土→⑩拆支撑,工序①~④及⑥为竖向构件施工阶段,工序⑤为搭支撑阶段,⑦~⑨为水平构件施工阶段,工序⑩为拆支撑阶段。框架结构施工工序大致为:①定位放线→②绑柱筋→③支柱模→④搭支撑→⑤浇柱混凝土→⑥支梁板模→⑦绑梁板筋→⑧浇梁板混凝土→⑨拆支撑,工序①~③及⑤为竖向构件施工阶段,工序④为搭支撑阶段,⑥~⑧为水平构件施工阶段,工序⑨为拆支撑阶段。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 4 个施工阶段更能反映目前不同结构类型建筑物的实际施工过程,也便于施工过程的安全控制。

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偏安全考虑。本文分别选取各工程、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^[7],具体结果见表 1。从表 1 可以看出:除竖向构件施工阶段剪力墙结构的可变荷载值明显大于框架结构相应值外(差值在 $0.8\text{ kN}/\text{m}^2$ 以上),其余阶段 2 种结构施工期可变荷载值的差值均较小($0.1\text{ kN}/\text{m}^2$ 以内)。

经计算,剪力墙结构、框架结构的竖向构件(墙或柱)截面面积之和与总建筑面积的比值约为 0.061、0.026,竖向构件所占比重越大,竖向构件施工所需材料越多,施工期可变荷载值也就越大。

5 与其他研究成果的对比分析

多年来,国内外学者通过钢筋混凝土结构施工期可变荷载的调查,采用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^[8-14],见表2。

表2 施工期可变荷载的统计结果

Table 2 Summary for statistical results of variable loads during the construction					
作者	年份	调查对象	统计方法	服从分布	计算标准值/(kN·m ⁻²)
张传敏等 ^[1]	2002	涉及 10 个工程	3 m 方格法	指数分布	1.0
Ayoub 等 ^[5]	1994	位于 12 个城市的 30 余个工程	0.304 8 m(1 ft)方格法	指数分布	2.1
			1.524 m(5 ft)方格法	对数正态分布	1.7
			3.048 m(10 ft)方格法	对数正态分布	1.3
苗吉军等 ^[8]	2002	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	2.94(模板支撑阶段) 1.18(混凝土浇筑阶段) 2.53(放线、绑扎阶段) 2.46(模板拆除阶段)
赵挺生等 ^[9]	2005	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 m ² 时取 4.8 A>15 m ² 时取 2.5
赵楠 ^[10]	2006	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 ^[11]	2015	单个框架结构	3 m×2 m 区格法	指数分布	2.64
谢楠等 ^[12]	2012		影响面法		1.5
梅源等 ^[13]	2010	20 余个钢筋混凝土结构	3 m 方格法	指数分布	1.5
赵军等 ^[14]	2010	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

国内外现行规范标准对钢筋混凝土结构施工期可变荷载的取值给出了相应规定,如英国规范 BS 5975—2008 规定^[15]施工活荷载标准值为 1.5 kN/m²; ACI347R—2014 规定^[16]模板设计时施工活荷载最小值为 2.4 kN/m²;我国规范 JGJ 162—2014《建筑施工模板安全技术规范》规定^[17]一般情况下施工活荷载标准值取 1.0 kN/m²,当模板上有大型布料设备时取 4.0 kN/m²; GB 50870—2013《建筑施工安全技术统一规范》给出^[18]的施工活荷载标准值为 2.5 kN/m²。

将本文计算的施工期可变荷载标准值与其他学者、现行规范相比较,发现本文统计分析所得的施工期可变荷载值存在一定的差异,造成差异的原因主要有 4 点:(a)调查工作进行年代不同,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;(b)采用的统计分析方法不同,对施工期可变荷载的统计分析方法尚未统一;(c)选取的基本假定不同,施工期结构荷载的大小、分布较为复杂,统计分析时往往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;(d)施工期可变荷载的随机性更大,通过单个工程或少量工程的调查统计结果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。

6 结 论

a. 同种结构类型的各工程施工期可变荷载随施工过程的变化规律基本相同。剪力墙结构的荷载最大

表1 施工期可变荷载标准值的建议取值
Table 1 Recommended standard values of variable loads during the construction kN/m²

施工阶段	剪力墙结构	框架结构	2 种结构汇总
竖向构件施工	1.894	1.073	1.894
搭支撑	1.653	1.716	1.716
水平构件施工	1.295	1.270	1.295
拆支撑	1.891	1.998	1.998

值常出现在绑扎墙、梁钢筋或拆支撑阶段;框架结构的荷载最大值出现在拆支撑阶段,2 种结构的最小值均多出现在竖向构件混凝土浇筑阶段。

b. 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。

c. 竖向构件施工阶段剪力墙结构的施工期可变荷载值明显大于框架结构,其他阶段 2 种结构施工期可变荷载值比较接近。

d. 施工期可变荷载服从极值 I 型分布或指数分布。

e. 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 4 个施工阶段,混凝土结构各阶段施工期可变荷载标准值的建议取值为 1.894 kN/m²、1.716 kN/m²、1.295 kN/m²、1.998 kN/m²。

参考文献:

[1] 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): 62-65. (ZHANG Chuanmin, FANG Dongping, GENG Chuandong. In situ investigation and statistical analysis of live loads of reinforced concrete buildings during construction[J]. Engineering Mechanics, 2002, 19(5): 62-65. (in Chinese))

[2] 胡晓鹏,牛获涛,张永利. 粉煤灰混凝土早期强度的现场调查与试验研究[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2012, 40(6): 676-680. (HU Xiaopeng, NIU Ditao, ZHANG Yongli. Field investigation and experimental research on early-stage strength of fly ash concrete[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2012, 40(6): 676-680. (in Chinese))

[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.

[4] 胡杭. 建筑施工期活荷载统计分析 & 荷载效应影响面分析[D]. 北京:北京交通大学, 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.

[6] 李继华,林中民,李明顺. 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.

[7] 巴松涛,贡金鑫,佟晓利. 钢筋混凝土结构施工期可靠性分析方法[J]. 大连理工大学学报, 2000, 40(4): 479-482. (BA Songtao, GONG Jinxin, TONG Xiaoli. Reliability analysis method of reinforced concrete structures during construction[J]. Journal of Dalian University of Technology, 2000, 40(4): 479-482. (in Chinese))

[8] 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. (in Chinese))

[9] 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. (in Chinese))

[10] 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.

[11] 简超军,胡长明,叶正武,等. 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, et al. In situ investigation and statistical analysis of live loads of large span frame structure during construction[J]. Construction Technology, 2015, 44(15): 32-34. (in Chinese))

[12] 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. (in Chinese))

[13] 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. (in Chinese))

[14] 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. (in Chinese))

[15] British Standards Institution. Code of Practice for Falsework: BS5975—2008[S]. London: British Standards Institution, 2008.

[16] JOHNSTO D W, WHEELER K L. Guide to Formwork for Concrete: ACI347R—2014[S]. Washington: American Concrete Institution, 2014.

[17] 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: JGJ 162—2014[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2014.

[18] 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.