

文章编号:1000-582X(2010)10-083-05

## 柱长修正方法的施工模拟程序设计实现

袁政强<sup>1</sup>, 梁建忠<sup>2</sup>, 张守筠<sup>3</sup>

(1. 重庆大学 土木工程学院, 重庆 400045; 2. 宁夏消防总队, 银川 750000; 3. 云南省设计院, 昆明 650032)

**摘要:**按照柱长修正方法实现施工模拟,通过算例的结果比较验证了柱长修正方法的可行性和程序的准确性。由于柱长修正方法的特点,此程序可以更好地考虑施工过程中混凝土徐变、成熟度等因素的影响。同时,可以方便地分析每层在施工完成后的受力状态。

**关键词:**柱长修正; 施工模拟; 程序设计; 徐变

**中图分类号:**TU312

**文献标志码:**A

### Program design and realization by the column length amending method to simulate the construction

YUAN Zheng-qiang<sup>1</sup>, LIANG Jian-zhong<sup>2</sup>, ZHANG Shou-yun<sup>3</sup>

(1. College of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China; 2. Ningxia General Fire Brigade, Yiuchuan 75000, Ningxia, P. R. China; 3. Design Institute of Yunnan Province, Kunming 650032, Yunnan, P. R. China)

**Abstract:** This paper uses the column length amending method to realize the construction simulation, and verified the feasibility of the column length amending method and the accuracy of the program design by comparing calculation results of examples. Due to the characteristic of the column length amending method, it is convenient to consider many factor affection of concrete during the construction process. At same time, each layer can be analyzed conveniently after construction.

**Key words:** the column length amending; construction simulation; program design; creep

传统结构设计计算方法采用结构刚度一次形成,一次性加载模式,这与施工过程中结构刚度是逐层形成、结构自重逐层累加的实际情况有区别,从而使得结构施工过程中的受力方式和变形方式与结构设计状态存在一定的差异。这种差异对结构构成很大的安全隐患,已经引起人们越来越多的关注。加强对结构在施工过程中受力变化的研究,确保工程的安全性,已成为研究重点。

国内外学者根据施工阶段高层建筑结构的特性,提出了许多高层建筑结构施工模拟计算的方

法<sup>[1-3]</sup>,其中大多数方法都是基于叠加原理,运算较为繁琐。同时,由于叠加法分层叠加,使得考虑施工阶段的相关因素,如混凝土的徐变、成熟度等较难实现。因而能够找到更接近实际施工过程的施工模拟方法尤为重要。

笔者采用柱长修正方法进行结构的施工模拟,该施工模拟方法运算简便,并考虑了混凝土徐变和成熟度在施工过程中对结构的影响。结合实际的工程算例,与 ANSYS 有限元程序中的一次加载和刚度逐层形成、荷载分层施加的 2 种施工模拟方法进

收稿日期:2010-05-12

基金项目:国家自然科学基金资助项目(90815011)

作者简介:袁政强(1962-),男,重庆大学副研究员,博士,主要从事钢筋混凝土结构分析和计算数学研究,  
(E-mail)zqyuan@cqu.edu.cn。

行结果比较分析,验证该理论的合理性和正确性。

### 1 柱长修正方法的施工模拟原理

考虑施工过程的计算中,应用最广的是赵西安提出的“刚度一次形成,荷载分层叠加”的方法和傅学怡<sup>[1]</sup>提出的“刚度逐层形成,荷载分层叠加”的方法。这 2 种方法已经在高层建筑空间分析程序广泛应用。国内通用的结构计算软件 PKPM 早期在考虑模拟施工过程时设置 2 种计算方式<sup>[2]</sup>,即模拟施工一和二。模拟施工一实际上就是“刚度一次形成,荷载分层叠加”方法。模拟施工二是先将竖向构件刚度放大 10 倍然后再按模拟施工一进行加载。这样做的主要目的是为了削弱竖向荷载按刚度的重分配,使柱、墙上分得的轴力比较均匀,传给基础的荷载更为合理。PKPM 最新引入了模拟施工三,即“刚度逐层形成,荷载分层叠加”的方法。这 2 种模拟施工方法都需要采用叠加的方法考虑柱轴向变形差在施工过程中找平。

在模拟施工过程中,由于找平的原因使得柱长发生变化。为了更好地考虑柱长的变化,袁政强、曾滢<sup>[4]</sup>提出了采用温度变化的手段进行修正。在施工中,当第一层结构修建完成后,竖向构件之间会产生竖向位移差,在修建第二层时,由于对楼板进行找平,各竖向构件的长度不再相等,第一层竖向位移最大的构件在第二层修建时会加长,依次类推(见图 1)。假定柱长变化  $\Delta d_i$  是由温度变化进行补偿,那么  $\Delta d_i = \alpha \Delta t_i l$ ,则需要施加温度的柱子温差为  $\Delta t_i = \Delta d_i / \alpha l$ ,以便在有限元程序中实现补偿竖向构件的轴向变形差,从而达到楼板找平的目的。

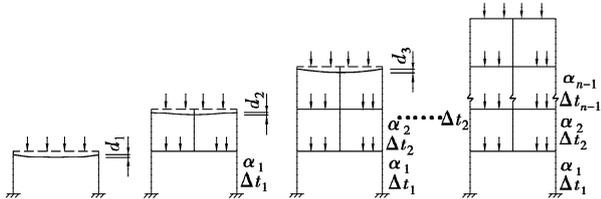


图 1 通过温度修正柱长模拟施工原理图

柱长修正的模拟施工通过温度修正柱长,但实际上考虑增加温度场的编程较难实现,可以通过采取对柱两端施加一对方向相反的作用力  $F_i$ ,根据  $F_i$  所产生的位移补偿  $\Delta d_i$ 。

杆所产生  $\Delta d_i$  所需的一对方向相反的作用力  $F_i$  可以由材料力学公式:

$$\Delta d_i = \frac{F_i l}{EA}, \quad (1)$$

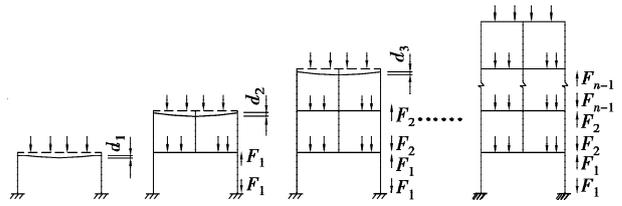


图 2 柱长修正编程模拟施工原理图

此时假定结构的柱侧向梁对柱影响较小,同时下部结构的刚度远大于上部形成的刚度,施加的一对方向相反的作用力产生的变形向上远大于向下。

则: 
$$\Delta F_i = \frac{\Delta d_i EA}{l}, \quad (2)$$

最后在计算轴力时扣除这对方向相反的作用力所产生的内力即为所求内力。按此方法尽管结果存在一定误差,但考虑模拟施工过程,不采用叠加法,由图 2 中最后一次求解的结果,即可得到结构的最终竖向位移和内力,同时在每次求解  $\Delta d_i$  时,结构总刚度矩阵可以在上一次的基础上叠加正在修建的一层,计算工作量小。因此,不失为一种精度相对较高同时编程较易实现的方法。

### 2 程序流程图与说明

程序流程图如图 3 所示。

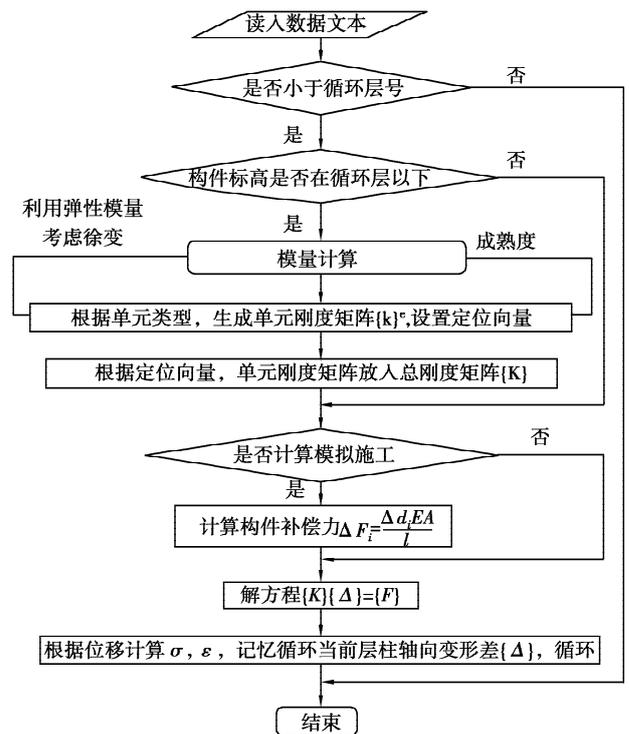


图 3 程序设计流程图

程序按照有限元程序的编制模式<sup>[5-7]</sup>编制了前处理、计算程序和后处理。以下是一些程序的说明:

1)数据读入

通过建立文本实现模型建立,编制了 ANSYS 模型数据转换程序方便模型输入。

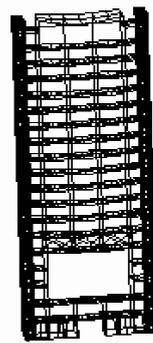
2)刚度形成

程序逐层循环,通过构件所在的标高控制是否读入。计算每层施工后的各个构件的轴向变形差,也正是这种计算方式,可以较为方便的分析每层施工后的结构受力情况。在读入构件的弹性模量后,可以利用调整弹性模量实现分析所考虑的结构因素的影响。文中编制了徐变和成熟度<sup>[8-17]</sup>两种考虑因素以方便对比计算。

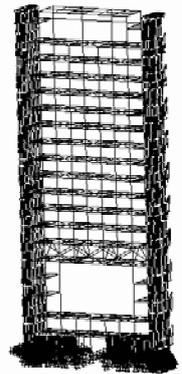
3)施工模拟

根据柱长修正方法的原理,每层构件施工完之后计算该层各个构件的轴向变形差,并计算补偿力大小,供新一层施工完毕后计算轴向变形差使用。补偿力的记忆可以充分利用 C++ 中类的特点来实现,这种计算每层轴向变形差是准确的。通过最后整体结构形成后计算结构的内力就可以实现一次计算考虑施工过程的结构内力。

1~3 层跃层中庭平面尺寸:18.8 m×24 m,建筑安全等级为二级、设计使用年限为 50 年,建筑抗震设防类别为丙类。剪力墙与框架的抗震设防等级均为 3 级。抗震设防烈度为 6 度,设计地震分组为第 1 组。设计基本地震加速度为 0.05 g。采用 C++ 语言实现柱长修正方法的施工模拟,利用 ANSYS 计算一次加载和“刚度逐层形成,荷载分层叠加”方法的施工模拟(见图 4~5)。为了后面叙述方便,以下将 J、L 轴中 5~7 轴的梁称为“边跨梁”,7~9 轴的梁称为“中跨梁”,5 轴的柱称为“边柱”,7 轴和 9 轴的柱称为“中柱”。



(a) 程序生成计算简图



(b) ANSYS 单元划分简图

图 4 算例计算简图

### 3 计算结果的对比分析

#### 3.1 算例介绍

算例为地下 2 层,地上 18 层结构。主体结构

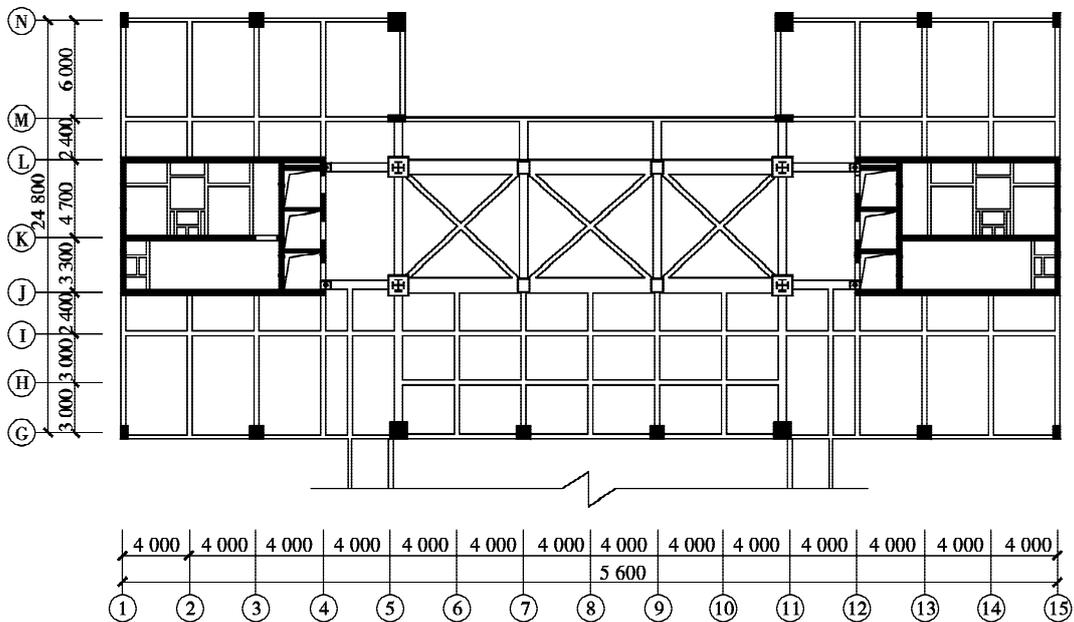


图 5 算例平面图

### 3.2 计算结果

模拟计算结果见图 6~13,其中,模型 1 为一次加载,模型 2 为刚度逐层形成、荷载分层施加,模型 3 为柱长修正方法。

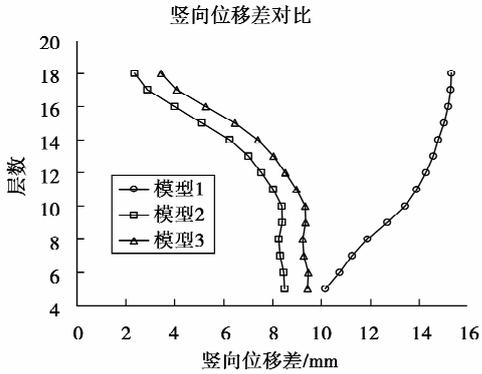


图 6 边柱与中柱竖向位移差

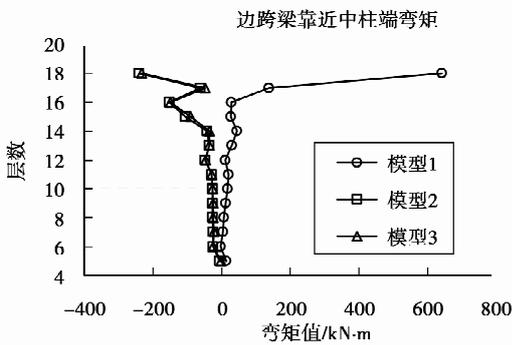


图 7 边跨梁在靠近边柱的端弯矩对比

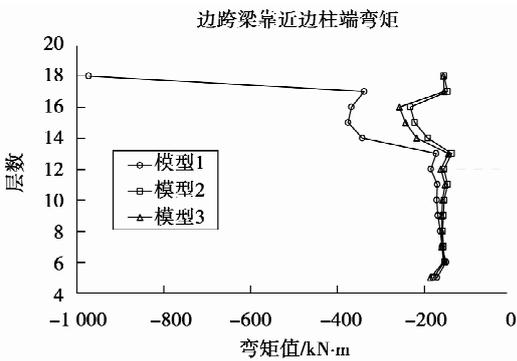


图 8 边跨梁在靠近中柱的端弯矩对比

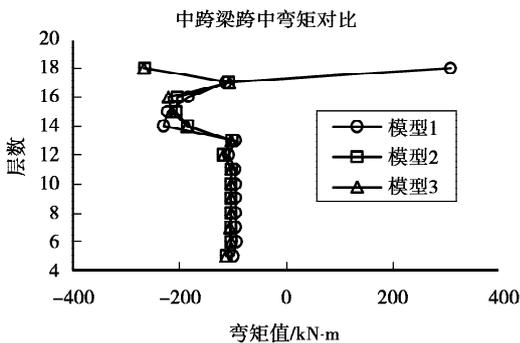


图 9 中跨梁的端弯矩对比

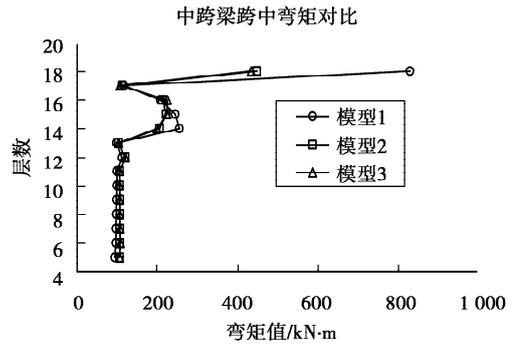


图 10 中跨梁的中弯矩对比

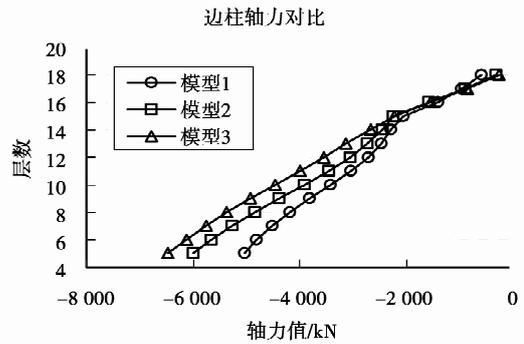


图 11 边柱轴力对比

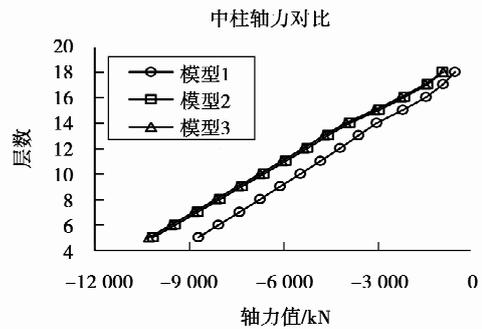


图 12 中柱轴力对比

## 4 结 语

根据上述比较分析可以认为,柱长修正方法的施工模拟计算与“刚度逐层形成,荷载分层叠加”的方法结果较为吻合,该程序能准确地实现考虑施工过程的计算。同时,也可以为进一步考虑其他结构受力因素提供开发平台。

### 参考文献:

[1] 傅学怡. 高层建筑结构垂直荷载下的施工模拟计算[J]. 深圳大学学报, 2003, 20(4): 8-12.

FU XUE-YI. The simulated calculation of high-rise building structure under vertical construction loads[J]. Journal of Shenzhen university, 2003, 20(4): 8-12.

- [2] 赵兵. PKPM 软件中模拟施工的原理及应注意的问题[J]. PKPM 软件园地, 2006:14-16.  
ZHAO BING. Construction simulation principle and should be concerned problem in PKPM software[J]. PKPM software field, 2006:14-16.
- [3] SCHEXNAYDER CLIFF, KNUTSON KRAIG, FENTE JAVIER. Describing a beta probability distribution function for construction simulation[J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2005, 131(2): 221-229.
- [4] 曾滢. 大跨度转换层上部结构模拟施工过程的力学分析[D]. 重庆:重庆大学土木工程学院, 2008.
- [5] GRAHAM CHARLES ARCHER. Object-oriented finite element analysis [D]. Berkeley: University of California at Berkeley. 1996.
- [6] KONG X A, CHEN D P. Object-oriented design of FEM programs[J]. Computers and Structures, 1995, 57(1):157-166.
- [7] 钱能. C++ 程序设计教程[M]. 北京:清华大学出版社, 2006.
- [8] MAMDOUH. M. E LBADRY, SAMER . A. YOUAKIM, AMIN. GHALI. Model analysis of time-dependent stresses and deformations of structural concrete[J]. Structural analysis and CAD, 2003, 29(3): 417-419.
- [9] VIKTOR GRIBNIAK, GINTARIS KAKLAUSKAS, DARIUS BACINSKAS. Shrinkage in reinforced concrete structures; A computational aspect[J]. Journal of Civil Engineering and Management, 2008, 14 (1): 49-60.
- [10] YUN LEE, SEONG-TAE YI, MIN-SU KIM, et al. Evaluation of a basic creep model with respect to autogenous shrinkage [J]. Cement and Concrete Research, 2006, 36:1268-1278.
- [11] BENBOUDJEMA F, MEFTAH F, TORRENTI J M. Interaction between drying, shrinkage, creep and cracking phenomena in concrete [J]. Engineering Structures, 2005, 27(2):239-250.
- [12] TERMKHAJORNKIT P, NAWA T, NAKAI M, et al. Effect of fly ash on auto-genous shrinkage[J]. Cement and Concrete Research, 2005, 35(3):473-482.
- [13] HOLT E. Contribution of mixture design to chemical and autogenous shrinkage of concrete at early ages[J]. Cement and Concrete Research, 2005, 35(3):464-472.
- [14] 傅学怡, 孙璨, 吴兵. 高层及超高层钢筋混凝土结构的徐变影响分析[J]. 深圳大学学报:理工版, 2006, 23(4):283-290.  
FU XUE-YI, SUN CAN, WU BIN. Analysis of creep effect on tall and super tall R C building[J]. Journal of Shenzhen University Science and Engineering, 2006, 23(4):283-290.
- [15] 罗小华. 超高层建筑结构竖向变形估算[J]. 结构工程师, 2004, 20(6):30-33.  
LUO XIAO-HUA. Calculation of vertical deformation for super high-rise buildings [J]. Structural engineers, 2004, 20(6):30-33.
- [16] 沈蒲生, 方辉. 超静定结构的徐变效应的力学分析方法[J]. 铁道科学与工程学报, 2006, 3(1):1-5.  
SHEN PU-SHENG, FANG HUI. Creep analysis of statically indeterminate structures by force method[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2006, 3(1):1-5.
- [17] 黄民, 邓蜀娟, 艾奕, 等. 建筑结构的徐变收缩分析[J]. 西南科技大学学报, 2004, 19(3):49-51.  
HANG MING, DENG SHU-JUAN, AI YI, et al. Creep and shrinkage analysis for buildings [J]. Journal of Southwest University of Science and Technology, 2004, 19(3):49-51.

(编辑 陈移峰)