

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2013.S2.013

# 混凝土梁预应力筋张拉顺序的仿真分析及优化

李冬, 吴乔一

(辽宁工程技术大学 研究生院, 辽宁 阜新 123000)

**摘要:**后张预应力混凝土梁中预应力筋的张拉是基于对称的原则确定张拉顺序的。采用有限元软件 ADINA 对阜新市博物馆预应力混凝土框架结构中一跨度为 54 m 的混凝土梁的张拉过程进行仿真分析。根据对称张拉的原则, 提出 2 种张拉方案, 分析对比 2 中张拉过程中梁的变形情况, 并与顺序张拉做对比, 从而进行张拉顺序的优化。

**关键词:**预应力结构; 预应力筋张拉顺序; ADINA; 仿真分析

**中图分类号:** TU375.1    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1674-4764(2013)S2-0053-03

## Analysis and Optimization of Tension Sequence of Prestressed Reinforcing Steel Bars in Concrete Beam

Li Dong, Wu Qiaoyi

(Graduate School, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, Liaoning)

**Abstract:** Post-tensioned prestressed concrete beam in tensioning of prestressed reinforcement is based on the symmetry principle to determine the tensioning sequence. Simulation of the tensioning process of a 54m span post-tension concrete beam of a Prestressed Concrete Frame Structure in Fuxin was conducted with the finite element analysis program ADINA. With two different tensioning schemes, the influence of the tensioning sequence on deformation is calculated and then compared with the tensioning one by one in order the tensioning sequence is optimized.

**Key words:** prestressed concrete; tension of prestressed steel bar; ADINA; simulation analysis

预应力混凝土结构根据其预应力施工工艺可分为先张法和后张法两种。先张法主要用于生产小型预应力混凝土结构构件; 后张法主要用于生产大型构件, 其优点是不需要张拉台座, 便于现场施工。但是, 后张法预应力筋的效应并不是同时作用到梁上的, 这就要求在张拉预应力筋的过程中, 必须考虑张拉顺序对梁产生的影响<sup>[1-3]</sup>。本文选取阜新市博物馆预应力框架结构中一跨度 54 m 的梁, 建立有限元模型, 通过比较 2 种对称张拉方案, 找出最优的张拉顺序, 为施工单位制定预应力筋的张拉方案提供参考。

### 1 预应力结构仿真分析的方法

#### 1.1 预应力混凝土有限元分析方法

在有限元分析中, 预应力混凝土结构有两种分析方法: 等效荷载法和实体力筋法。

1) 等效荷载法: 把预应力筋的作用以等效荷载的形式作用于混凝土结构。

2) 实体力筋法: 实体力筋法是将混凝土和钢筋分开建模。在 ADINA 中, 对混凝土采用六面体八节点的 3D 实体单元, 钢筋采用程序专门提供的 Rebar 单元<sup>[4-6]</sup>。

#### 1.2 预应力的模拟方法

1) 初始应变法。给力筋单元设定一个初始拉应力, 放松后使力筋单元产生收缩变形。此初始应变将使力筋产生一个预拉作用。初始应变的公式为

$$\epsilon_0 = P/EA \quad (1)$$

其中:  $\epsilon_0$  为力筋的初始应变;  $P$  为预应力施加值;  $E$  为力筋的弹性模量;  $A$  为力筋的截面面积。

2) 降温法。为力筋单元设定一个初始温度, 并且给定一个降温值, 使得力筋单元产生一个收缩变形, 此初始应变将使力筋产生预拉作用, 这个预拉作用即为模型的预应力。钢筋的降温公式为

$$\Delta T = P/EA\alpha \quad (2)$$

其中:  $\Delta T$  为力筋的温降值;  $P$  为预应力施加值;  $E$  为力筋的弹性模量;  $A$  为力筋的截面积;  $\alpha$  为力筋的线性膨胀系数<sup>[7-10]</sup>。

### 2 工程算例

#### 2.1 工程概况

阜新博物馆预应力框架结构部分, 梁长 54 m, 高 2 m, 宽 0.8 m。共设有 8 孔预应力钢束, 梁示意图及截面如下图 1~3 所示。

收稿日期: 2013-09-30

基金项目: 辽宁工程技术大学研究生科研资助(Y201201206)

作者简介: 李冬(1989-), 男, 硕士, 主要从事混凝土结构理论研究, (E-mail) lidong8998@163.com。

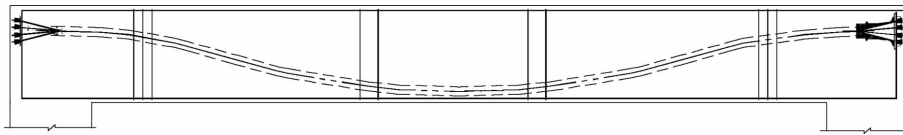


图 1 梁体预应力筋布置示意图

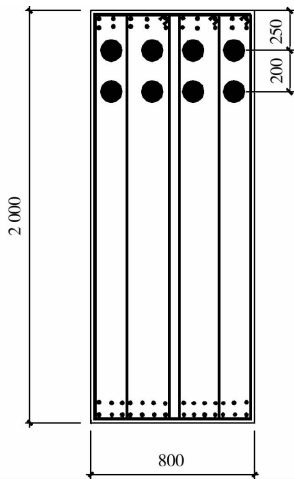


图 2 端部截面示意图

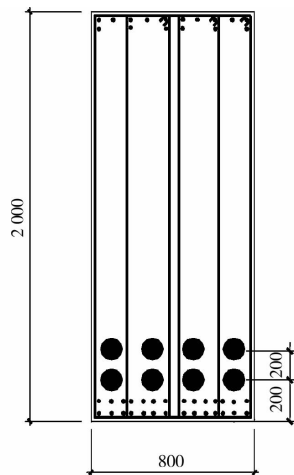


图 3 跨中截面示意图

## 2.2 有限元模型建立

2.2.1 材料参数 根据实际工程中的材料参数,模型中各材料的计算参数选取如下:

混凝土:弹性模量  $E_c = 3.25 \times 10^4$  MPa,密度  $2500 \text{ kg/m}^3$ ,泊松比 0.2,抗拉强度 2.39 MPa,抗压强度 26.8 MPa。

预应力钢绞线:弹性模量  $E_p = 1.95 \times 10^5$  MPa,密度  $7800 \text{ kg/m}^3$ ,泊松比 0.3,屈服强度 1488 MPa,极限强度 1860 MPa,线膨胀系数  $1 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 。

普通钢筋:弹性模量  $E_c = 2.0 \times 10^5$  MPa,密度  $7800 \text{ kg/m}^3$ ,泊松比 0.3,屈服强度 400 MPa。

其中,各束钢绞线的截面面积为  $181.4 \text{ mm}^2$ ,各束钢绞线的张拉力均为  $1874 \text{ kN}$  [11]。

2.2.2 有限元模型 模型中混凝土用六面体八节点的 3D 实体单元来模拟,钢筋采用 ADINA 专用的 Rebar 单元来模拟,该单元模拟混凝土中的钢筋的特点之一,不需要用户划

分单元,而是由前处理自动生成钢筋单元,同时用户可方便指定不同的 Rebarline 的截面特性,软件自动处理钢筋同周围混凝土单元之间的关系 [12-13]。建成的有限元模型如下图所示。

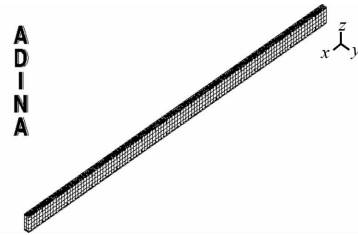


图 4 混凝土梁有限元模型

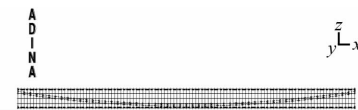


图 5 梁中预应力筋布置图

2.2.3 荷载施加 预应力梁所受荷载为自重和预应力筋的预应力。本模型采用降温法模拟预应力效应。由公式(2)得  $\Delta T = 529.9^\circ\text{C}$ 。

2.2.4 张拉顺序方案 根据对称张拉的原则,提出以下 2 中张拉顺序方案,并以顺序张拉作为对比。

2.2.5 仿真结果分析 通过对 ADINA 中设置的荷载步来实现不同张拉顺序的施工效果。以梁跨中挠度、跨中侧向位移的变化情况作为依据 [14-15],分析各张拉过程的变化情况,结果如下图所示。

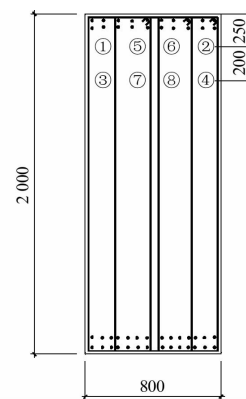


图 6 张拉顺序 1

从图 6 中可以看出,几种张拉顺序下跨中挠度近似成线性变化,而且不同张拉顺序下挠度的变化基本一致,说明对于矩形截面预应力梁,不同的张拉顺序对跨中挠度的变化基本上没有影响;从图 7 中可得到跨中侧向位移有明显的差别,对称张拉时梁跨中侧向位移变化比较小,整个张拉过程梁的受力比较合理,顺序张拉时梁的侧向位移比较大,张拉过程中梁的受力比较复杂,通过比较可以得出张拉顺序 1 是

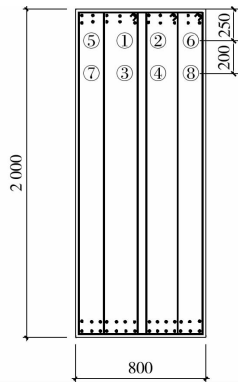


图 7 张拉顺序 2

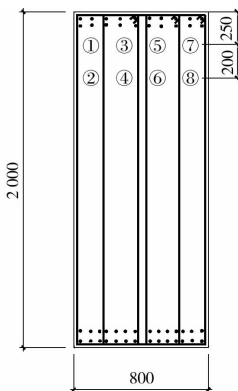


图 8 张拉顺序 3

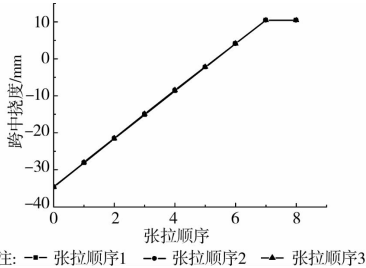


图 9 跨中挠度图

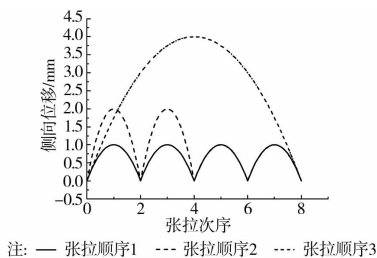


图 10 跨中侧向位移图

比较理想的张拉过程。另外,张拉过程的制定还要依据施工现场的条件,以及施工效率的比较综合选定。

### 3 结 论

通过利用 ADINA 软件,建立不同张拉顺序下的仿真模型,得出了不同张拉方案过程中梁跨中挠度及侧向位移的变化情况,通过对其进行分析对比,从而得出了最合理的张拉顺序,为预应力施工单位制定合理张拉顺序提供参考。

#### 参考文献:

- [1] 顾祥林. 混凝土结构基本原理[M]. 上海: 同济大学出版社, 2011.
- [2] 房贞政. 预应力结构理论与应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
- [3] 李国平. 预应力混凝土结构设计原理[M]. 2 版. 北京: 人民交通出版社, 2009.
- [3] 江见鲸, 陆新征. 钢筋混凝土结构有限元分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [4] ADINA 北京代表处. ADINA 中文土木练习手册[M]. 北京: 地质出版社, 2004.
- [5] 张彬, 李治国. 基于 ADINA 的预应力箱梁承载能力非线性有限元分析[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2008, 27: 62-64.
- [6] 田英辉, 李刚, 闫澍旺, 等. 后张混凝土梁预应力筋张拉顺序数值模拟及优化[J]. 港工技术, 2006, 9: 23-25.
- [7] 季振祥. 混凝土结构预应力筋分批张拉过程中张力的仿真分析[J]. 中国港湾建设, 2008(4): 12-13.
- [8] 李广民, 任德记, 高阳峰. 预应力钢绞线模拟分析与应用 [J]. 水利科技与经济, 2007(10): 726-728.
- [9] 刘杰, 叶见署, 陈娟娟, 等. 基于组合式模型的箱梁横向预应力张拉顺序分析[J]. 东南大学学报, 2012, 42(2): 363-368.
- [10] 熊世树, 罗后兵, 程稳征, 等. 预应力筋张拉过程的数值模拟与监测[J]. 华中科技大学学报, 2007, 24(1): 17-20.
- [11] GB 50010-2010 混凝土结构设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社.
- [12] 岳戈, 陈权, 等. ADINA 应用基础与实例详解[M]. 北京: 人民交通出版社, 2008.
- [13] 马野, 袁志丹, 曹金凤, 等. ADINA 有限元经典实例分析[M]. 北京: 机械工业出版社, 2012.
- [14] 黄超. 预应力钢束张拉顺序对曲线箱梁内力与变形的影响研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2011.
- [15] 朱建. 预应力张拉工艺对连续刚构桥应力及变形的影响[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2012.

(编辑 胡 玲)