# 贝雷架内力规律分析

Analysis of internal force law of Bailey structure

闫汝刚[1] 吴宏凯[2,3] 徐德宇[2,3]

（1甘肃第七建设集团股份有限公司，甘肃 兰州 730050；2兰州理工大学西部土木工程防灾减灾教育部工程研究中心，甘肃 兰州 730050；3兰州理工大学土木工程学院，甘肃 兰州 730050）

**摘要：**超高层建筑施工中，钢平台模架体系是混凝土施工的重要装备。在超高层建筑施工智能化液压顶升钢平台模架体系中对设计的单榀贝雷架进行实例分析发现，各杆件在不同等级荷载作用下呈现的内力值是有一定规律的。本文使用同济大学钢结构-空间结构设计软件3D3S进行模拟计算得到跨度21米、24米、27米、30米四种等级荷载作用下单榀贝雷架内力情况，并且总结出相同跨度的贝雷架在不同等级节点荷载作用下的内力规律，以及不同跨度的贝雷架在相同等级的节点荷载作用下的内力规律。

**关键词：**贝雷架；3D3S；桁架

**Abstract**: In the construction of super high-rise buildings, the steel platform formwork system is an important equipment for concrete construction. In the intelligent hydraulic jacking steel platform formwork system of super high-rise building construction, it is found that the internal force value of each member under different levels of load has a certain rule during the case analysis of the designed Bailey frame. In this paper, 3D3S software is used to calculate the internal forces of a single Bailey frame with spans of 21 m, 24 m, 27 m and 30 m respectively. The internal force rules of the same span Bailey frame under different loads and different span Bailey frame under the same load are summarized.

**Keywords**: Bailey frame;3D3S;truss

**中图分类号：**U445.34　TU311.41　**文献标志码：**A　**文章编号：**1003-8965(2020)01-0072-07

## 0　引言

现代城市的人口数量趋向于高密度集中，超高层建筑已成为一种趋势，未来超高层建筑将继续高速发展。在我国，高度大于250m的超高层建筑，结构体系一般都设计有核心筒结构[1]。核心筒是其他分部施工的先导，制约着外框架结构，水平结构，机电，幕墙等施工速度，是决定整个结构施工的关键环节。所以在保证结构质量与施工安全的前提下，提高核心筒施工速度非常重要。由于核心筒施工工作量大、工序繁琐、施工精度要求高、操作空间有限，无法采用增加劳动力的方式加快施工进度，所以模架体系是核心筒施工的关键装备[2]。甘肃第七建设集团股份有限公司委托研发的超高层建筑施工智能化液压顶升钢平台模架体系项目根据超高层建筑的具体情况和特点，设计科学合理的钢平台模架体系结构型式，提升混凝土结构工程施工效率，达到降低成本的目的。项目研发过程中对钢平台体系核心区中的单榀贝雷架进行实例分析发现，贝雷架各杆件在不同等级荷载作用下呈现的内力值是有一定规律的，本文从不同荷载相同跨度与不同跨度相同荷载两方面着手研究贝雷架的内力规律。

## 1　工程概况

本钢平台系统由核心区贝雷架和边缘区贝雷架拼接组成；支撑系统包括支撑钢柱与支撑梁，钢桁架平台布置见下图。其中，立柱高度20m，平台平面尺寸为35.7m×35.7m。钢平台净跨长度18m，悬挑端部7.5m。用钢量447吨，平台三维线框图如图1所示，核心区贝雷架如图2所示，边缘区贝雷架如图3所示。

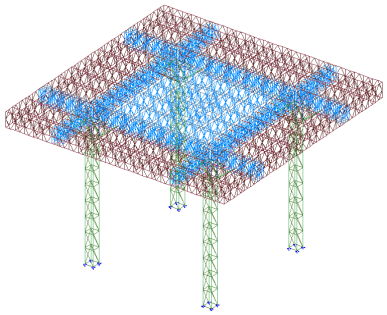

图1　平台三维图

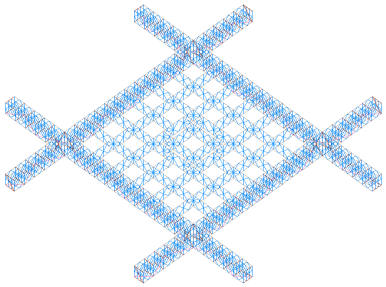

图2　核心区贝雷架

模架结构的构件材料均为Q345B钢，核心区贝雷架弦杆为[28a的格构双槽钢][组合；核心区贝雷架腹杆为工18；核心区贝雷架横向连接系为150×150×10×10[14a的矩形管截面；而边缘区贝雷架弦杆则采用[10的格构双槽钢][组合；边缘区贝雷架腹杆为[10；支撑柱弦杆为Φ300×25的圆管截面；支撑柱腹杆为Φ120×8的圆管截面；

**基金项目：**兰州市科技计划项目(2018-1-27)“超高层建筑施工整体自升钢平台模架体系的研发”



(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

斜撑为Φ150×10的圆管截面。

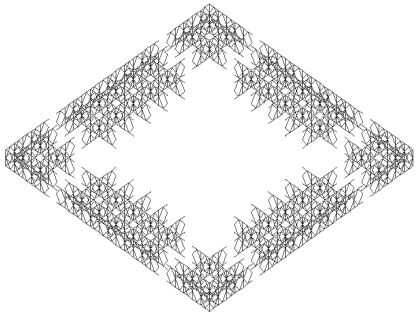

图3　边缘区贝雷架

根据所提供荷载资料，结构分析取以下几种荷载：1）恒荷载：钢平台满布钢板1kN/m$^2$；挂架外侧6.25kN/m；挂架内侧10kN/m；电梯吊笼11t；混凝土布料机10t。2）活荷载：施工荷载1.5kN/m、2.5kN/m；堆载10kN/m2、7.5kN/m2、2.5kN/m2。3）风荷载：按200米楼高考虑，地面粗糙度为B类别，由《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)[3]确定W=9=9*1.27=11.43kN/m$^2$。

## 2　单榀贝雷架模型选取

在核心区贝雷架与边缘区贝雷架中选取跨度分别为21米、24米、27米、30米，高度均为1.5米的4榀贝雷架作为模型。综合恒活荷载并考虑建模后的内力对比，经调整，得到传递给桁架的节点荷载分别为8KN、13KN、7.5KN、10KN。考虑到所取贝雷架位于核心区，故模型两端节点荷载与跨中节点荷载取值一致。各贝雷架之间都有支撑，且两端与支撑钢柱铰接，贝雷架水平方向的侧移会受到钢平台主体结构的限制，所以其水平位移的量级很小，可以忽略不计，即贝雷架结构为无侧移的钢结构。这样可得竖向节点荷载作用下的贝雷架计算简图。见图4。

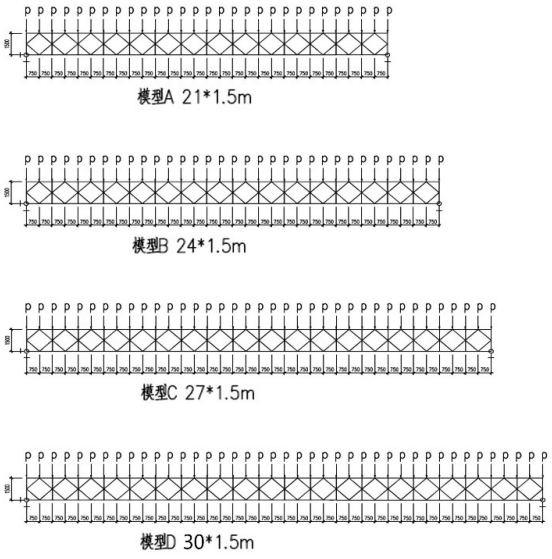


图4　模型简图

在计算时，引入一些假定使得部分杆件为轴心受力构件。在实际工程中节点不可能为理想铰接，不可避免地存在微小弯矩和剪力。从陈绍蕃[4]的研究可以看出弯矩对应力影响很小时，可以用一些构造措施忽略次弯矩影响。综上所述，上下弦杆在建模中设置为通长，竖腹杆两端分别与上下弦杆铰接，上斜腹杆两端分别与上弦杆与竖腹杆铰接，下斜腹杆两端分别与下弦杆与竖腹杆铰接，见图5。

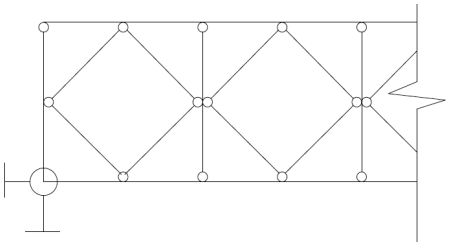

图5　单榀贝雷架模型铰接示意图

## 3　单榀贝雷架内力分析

图6–图9分别为模A、模型B、模型C、模型D贝雷架受到节点荷载10KN、16KN、22KN、28KN时的轴力内力图。

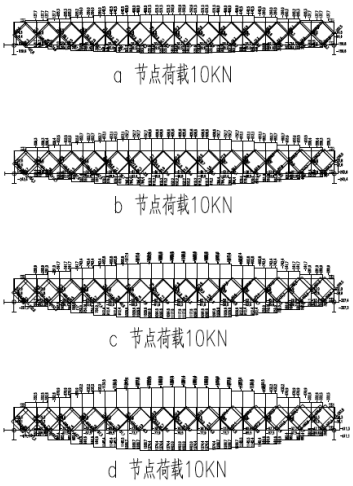


图6　模A轴力内力图

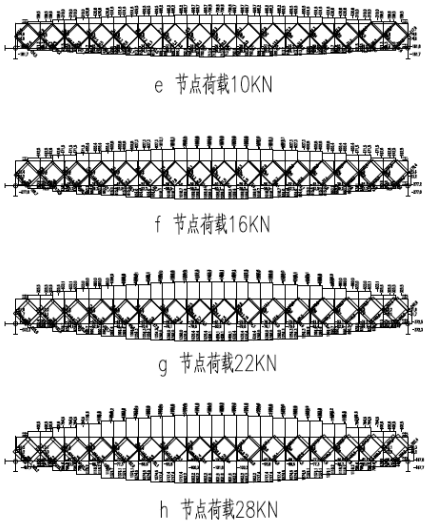


图7　模B轴力内力图



(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

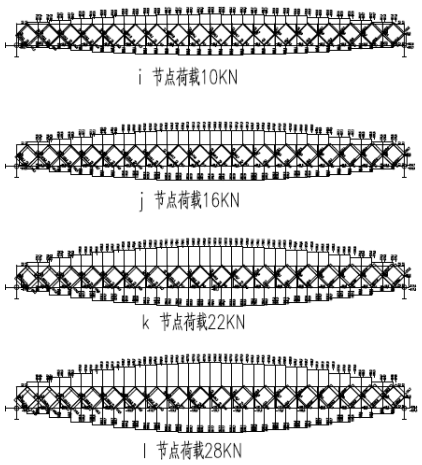


图8　模C轴力内力图

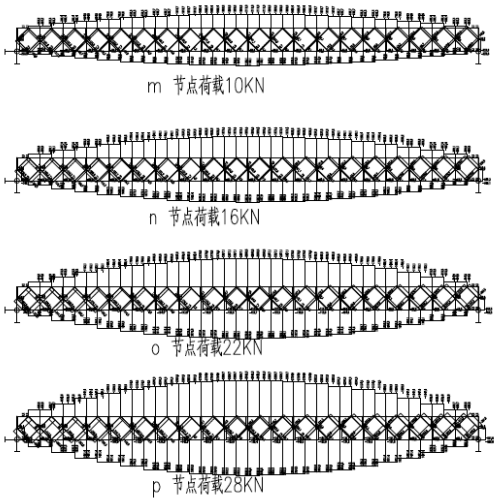


图9　模D轴力内力图

### 3.1　不同荷载相同跨度内力规律分析

为了确定相同跨度贝雷架在不同荷载等级作用下的内里规律，参照文献[5]，考虑模型A、B、C、D。拉力为正值，压力为负值。

模型A：

由图6a、图6b、图6c、图6d分别可以得知上弦杆轴力最大值变化为542.6KN、825.6KN、1108.5KN、1391.4KN。下弦杆轴力最大值变化为546.8KN、832.2KN、1117.6KN、1403.0KN。竖腹杆轴力最大值变化为30.7KN、47.0KN、63.3KN、79.6KN。斜腹杆轴力最大值变化为108.0KN、164.7KN、221.3KN、278.0KN，做出点线图10。

模型B：

由图7e、图7f、图7g、图7h分别可以得知上弦杆轴力最大值变化为709.8KN、1079.9KN、1450.1KN、1820.2KN。下弦杆轴力最大值变化为713.9KN、1086.5KN、1459.1KN、1831.8KN。竖腹杆轴力最大值变化为39.4KN、60.2KN、81.1KN、101.9KN。斜腹杆轴力最大值变化为125.7KN、191.5KN、257.4KN、323.3KN，做出点线图11。

模型C：

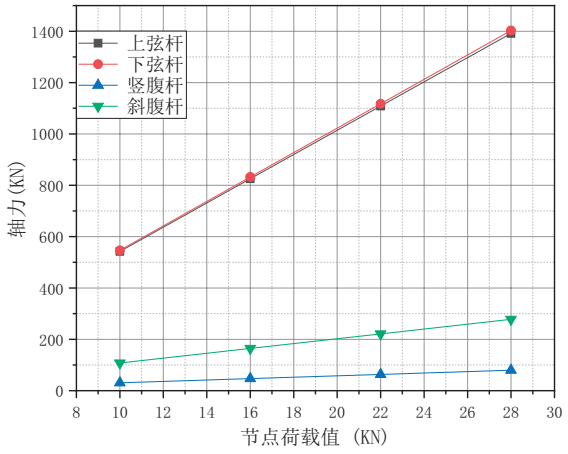


图10　点线图

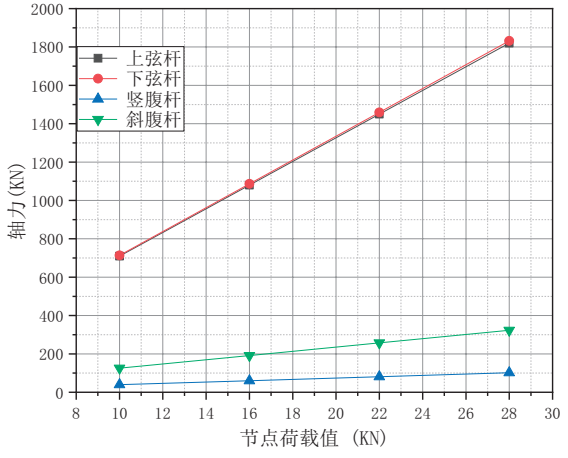


图11　点线图

由图8i、图8j、图8k、图8l分别可以得知上弦杆轴力最大值变化为899.2KN、1368.2KN、1837.2KN、2306.2KN。下弦杆轴力最大值变化为903.4KN、1374.8KN、1843.3KN、2317.7KN。竖腹杆轴力最大值变化为49.2KN、75.3KN、101.3KN、127.3KN。斜腹杆轴力最大值变化为143.3KN、218.4KN、293.5KN、368.6KN，做出点线图12。

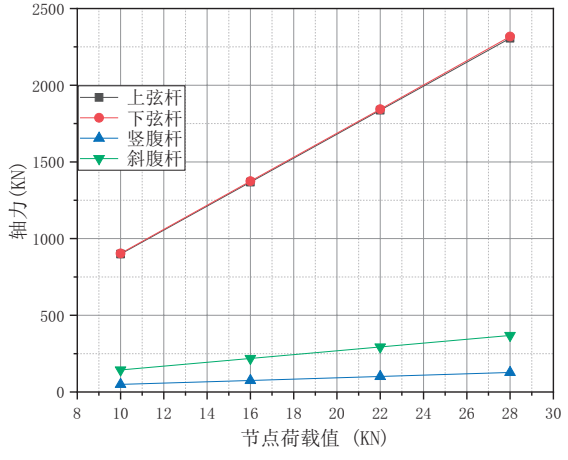


图12　点线图

模型D：

由图9m、图9n、图9o、图9p可以得知上弦杆轴力最大



(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

值变化为1111.0KN、1690.4KN、2269.8KN、2849.3KN。下弦杆轴力最大值变化为1115.1KN、1697.0KN、2278.9KN、2860.8KN。竖腹杆轴力最大值变化为60.3KN、92.0KN、123.8KN、155.6KN。斜腹杆轴力最大值变化为161.0KN、245.3KN、329.6KN、413.9KN，做出点线图13。

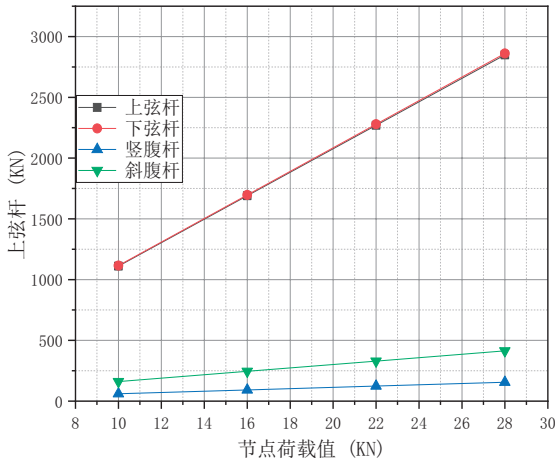


**图13　点线图**

由图10–图13计算可得各模型上弦杆的轴力与节点荷载大小为线性关系，斜率分别为47.16、61.69、78.17、96.57。下弦杆的轴力与节点荷载大小为线性关系，斜率分别为47.57、62.11、78.57、96.98。竖腹杆的轴力与节点荷载大小为线性关系，斜率分别为2.72、3.47、4.34、5.29。斜腹杆的轴力与节点荷载大小为线性关系，斜率为9.44、10.98、12.52、14.05。故不同荷载相同跨度的情况下，各杆件的内力与荷载成线性关系。同时贝雷架各杆件随着节点荷载等级增加，下弦杆的轴力增长最快即斜率最大，其次是上弦杆，再其次是斜腹杆，最后是竖腹杆。同时上弦杆、下弦杆、竖腹杆的内力最大值是在跨中部位并且沿着两端支座方向逐渐减小，斜腹杆内力在两端支座处最大，沿着跨中方向逐渐减小，最小值产生在跨中部位。

### 3.2　不同跨度相同荷载情况下的内力规律分析

1）节点荷载10KN

由图6a、图7e、图8i、图9m，得到不同跨度时上弦杆的轴力最大值变化为542.6KN、709KN、899.2KN、1111.0KN，做出点线图14。

结合点线图并计算得到跨长21m至24m段斜率为55.46，跨长24m至27m段斜率为63.4，跨长27m至30m段斜率为70.6。故可以得知在相同荷载作用下，随着跨长增加上弦杆轴力增加速率是增加的。下弦杆的轴力最大值变化为546.8KN、713.9KN、903.4KN、1115.1KN，做出点线图15。

结合点线图并计算得到跨长21m至24m段斜率为55.7，跨长24m至27m段斜率为63.17，跨长27m至30m段斜率为70.57。故可以得知在相同荷载作用下，随着跨长增加下弦杆轴力增加速率是增加的。竖腹杆的轴力最大值变化30.7KN、39.4KN、49.2KN、60.3KN，做出点线图16。

结合点线图并计算得到跨长21m至24m段斜率为2.9，跨长24m至27m段斜率为3.27，跨长27m至30m段斜率为3.7。故可以得知在相同荷载作用下，随着跨长增加竖腹杆轴力增加速率是增加的。斜腹杆的轴力最大值变化为108.0KN、125.7KN、143.3KN、161.0KN，做出点线图17。

结合点线图并计算得到跨长21m至24m段斜率为5.9，跨长24m至27m段斜率为5.9，跨长27m至30m段斜率为5.9。故可得到斜腹杆轴力与跨长是成线性关系的。

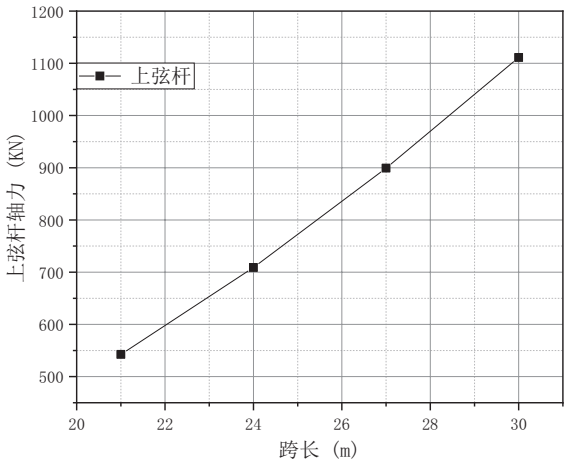


**图14　点线图**

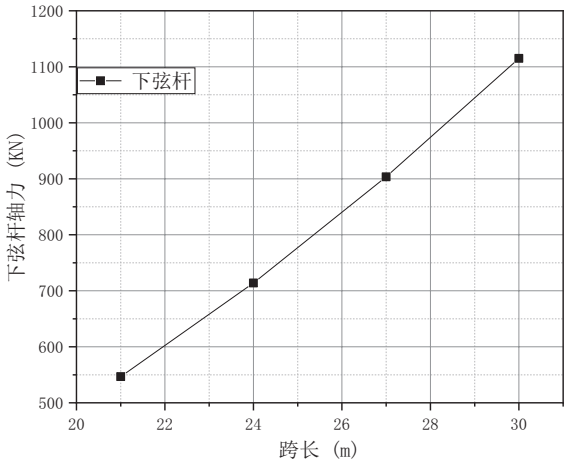


**图15　点线图**

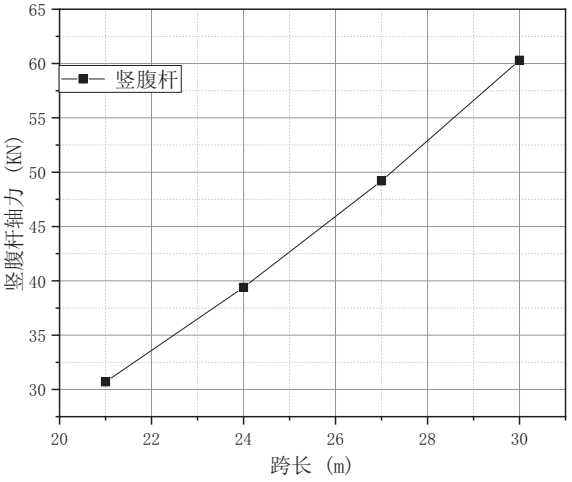


**图16　点线图**



(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

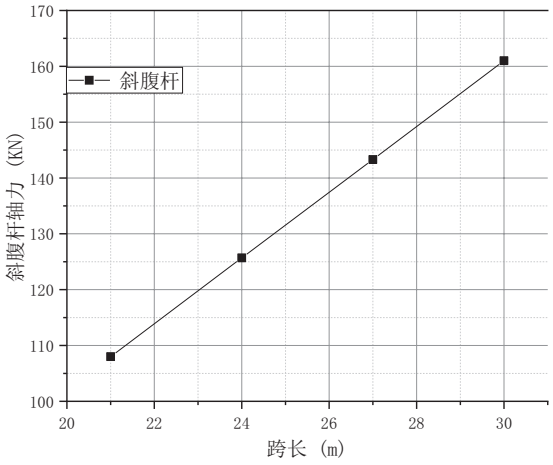


图17　点线图

2）节点荷载16KN

由图6b、图7f、图8j、图9n，得到不同跨度时上弦杆的轴力最大值变化为825.6KN、1079.9KN、1368.2KN、1690.4KN，做出点线图18。

结合点线图并计算得到跨长21m至24m段斜率为84.8，跨长24m至27m段斜率为96.1，跨长27m至30m段斜率为107.4。故可以得知在相同荷载作用下，随着跨长增加上弦杆轴力增加速率是增加的。下弦杆的轴力最大值变化为832.2KN、1086.5KN、1374.8KN、1697.0KN，做出点线图19。

结合点线图并计算得到跨长21m至24m段斜率为84.8，跨长24m至27m段斜率为96.1，跨长27m至30m段斜率为107.4。故可以得知在相同荷载作用下，随着跨长增加下弦杆轴力增加速率是增加的。竖腹杆的轴力最大值变化为47.0KN、60.2KN、75.3KN、92.0KN，做出点线图20。

结合点线图并计算得到跨长21m至24m段斜率为4.4，跨长24m至27m段斜率为5.0，跨长27m至30m段斜率为5.6。故可以得知在相同荷载作用下，随着跨长增加竖腹杆轴力增加速率是增加的。斜腹杆的轴力最大值变化为164.7KN、191.5KN、218.4KN、245.3KN，做出点线图21。

结合点线图并计算得到跨长21m至24m段斜率为8.9，跨长24m至27m段斜率为8.9，跨长27m至30m段斜率为8.9。故可得到斜腹杆轴力与跨长是成线性关系的。

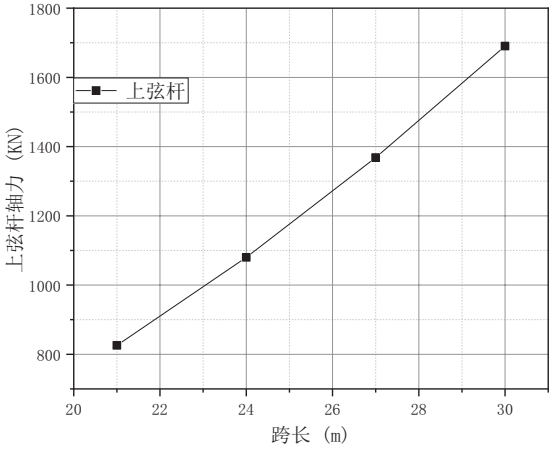


图18　点线图

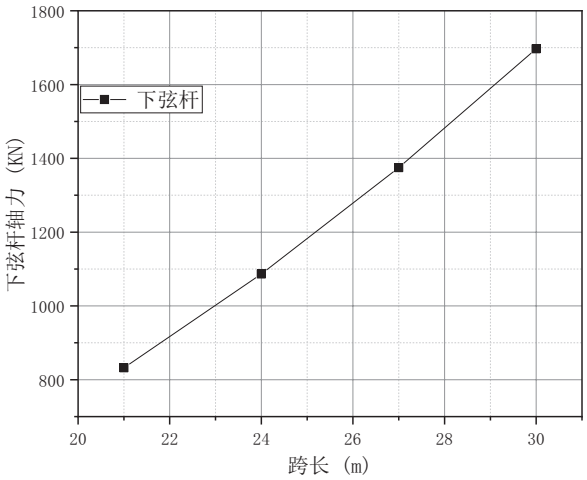


图19　点线图

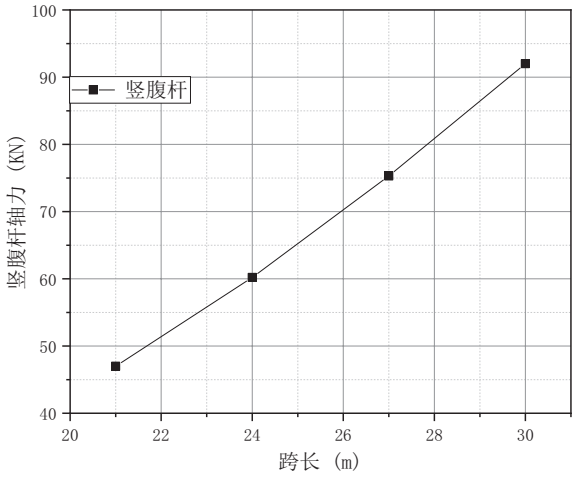


图20　点线图

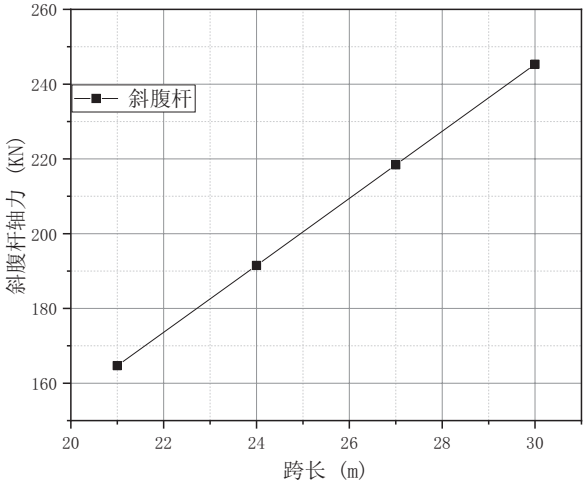


图21　点线图

3）节点荷载22KN

由图6c、图7g、图8k、图9o，得到不同跨度时上弦杆的轴力最大值变化为1108.5KN、1450.1KN、1837.2KN、2269.8KN，做出点线图22。

结合点线图并计算得到跨长21m至24m段斜率为



(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

113.9，跨长24m至27m段斜率为129.0，跨长27m至30m段斜率为144.2。故可以得知在相同荷载作用下，随着跨长增加上弦杆轴力增加速率是增加的。下弦杆的轴力最大值变化为1117.6KN、1459.1KN、1843.3KN、2278.9KN，做出点线图23。

结合点线图并计算得到跨长21m至24m段斜率为113.8，跨长24m至27m段斜率为128.1，跨长27m至30m段斜率为145.2。故可以得知在相同荷载作用下，随着跨长增加下弦杆轴力增加速率是增加的。竖腹杆的轴力最大值变化为63.3KN、81.1KN、101.3KN、123.8KN，做出点线图24。

结合点线图并计算得到跨长21m至24m段斜率为5.9，跨长24m至27m段斜率为6.7，跨长27m至30m段斜率为7.5。故可以得知在相同荷载作用下，随着跨长增加竖腹杆轴力增加速率是增加的。斜腹杆的轴力最大值变化为221.3KN、257.4KN、293.5KN、329.6KN，做出点线图25。

结合点线图并计算得到跨长21m至24m段斜率为12.0，跨长24m至27m段斜率为12.0，跨长27m至30m段斜率为12.0。故可得到斜腹杆轴力与跨长是成线性关系的。

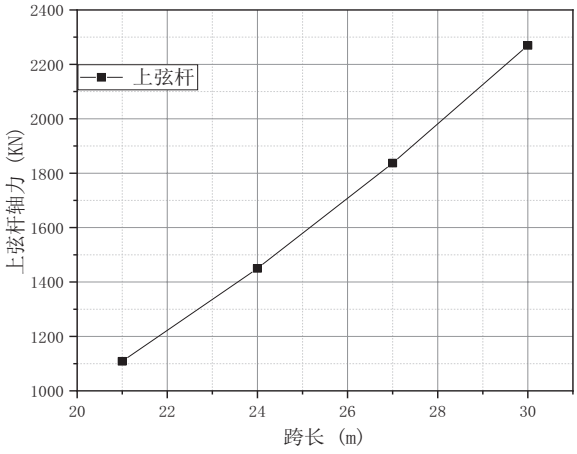


图22　点线图

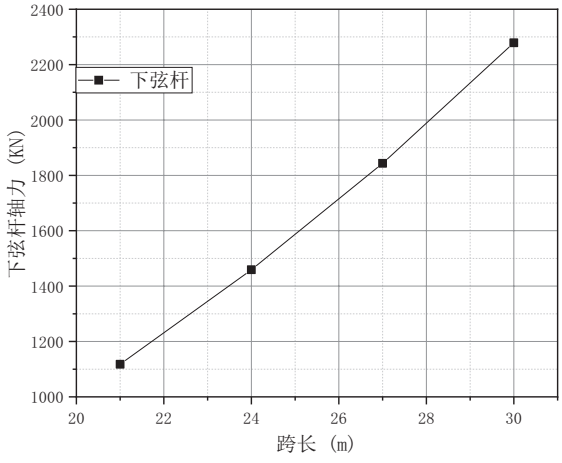


图23　点线图

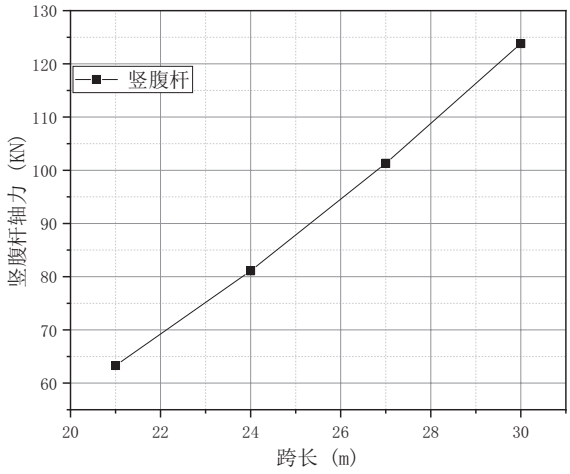


图24　点线图

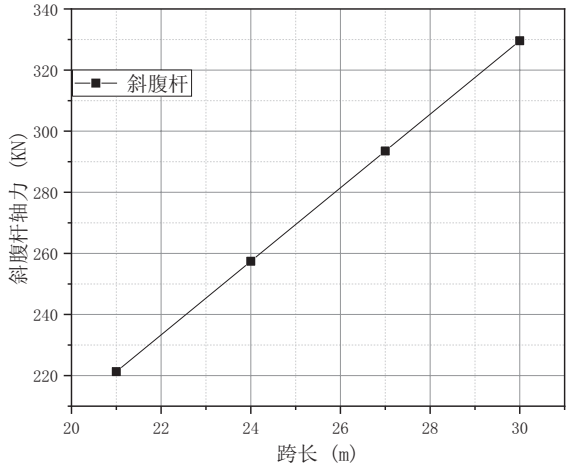


图25　点线图

4）节点荷载28KN

由图6d、图7h、图8l、图9p，得到不同跨度时上弦杆的轴力最大值变化为1391.4KN、1820.2KN、2306.2KN、2849.3KN，做出点线图26。

结合点线图并计算得到跨长21m至24m段斜率为142.9，跨长24m至27m段斜率为162.0，跨长27m至30m段斜率为181.0。故可以得知在相同荷载作用下，随着跨长增加上弦杆轴力增加速率是增加的。下弦杆的轴力最大值变化为1403.0KN、1831.8KN、2317.7KN、2860.8KN，做出点线图27。

结合点线图并计算得到跨长21m至24m段斜率为142.9，跨长24m至27m段斜率为162.0，跨长27m至30m段斜率为181.0。故可以得知在相同荷载作用下，随着跨长增加下弦杆轴力增加速率是增加的。竖腹杆的轴力最大值变化为79.6KN、101.9KN、127.3KN、155.6KN，做出点线图28。

结合点线图并计算得到跨长21m至24m段斜率为7.4，跨长24m至27m段斜率为8.5，跨长27m至30m段斜率为9.4。故可以得知在相同荷载作用下，随着跨长增加竖腹杆轴力增加速率是增加的。斜腹杆的轴力最大值变化为278.0KN、323.3KN、368.6KN、413.9KN，做出点线



(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

图29。

结合点线图并计算得到跨长21m至24m段斜率为15.1，跨长24m至27m段斜率为15.1，跨长27m至30m段斜率为15.1。故可得到斜腹杆轴力与跨长是成线性关系的。

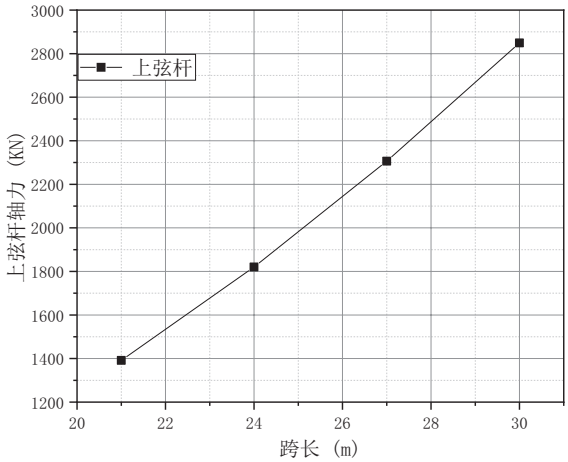


图26　点线图

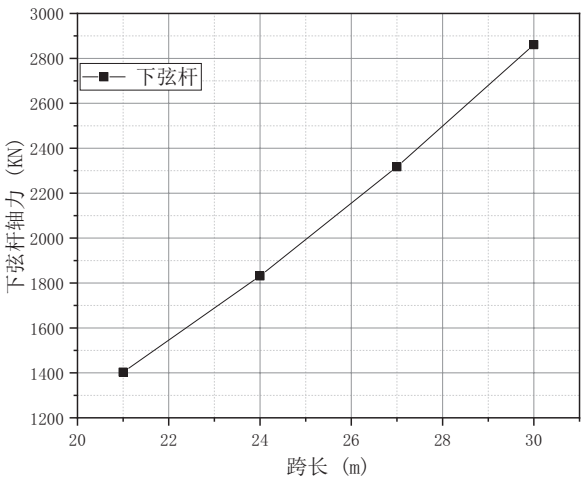


图27　点线图

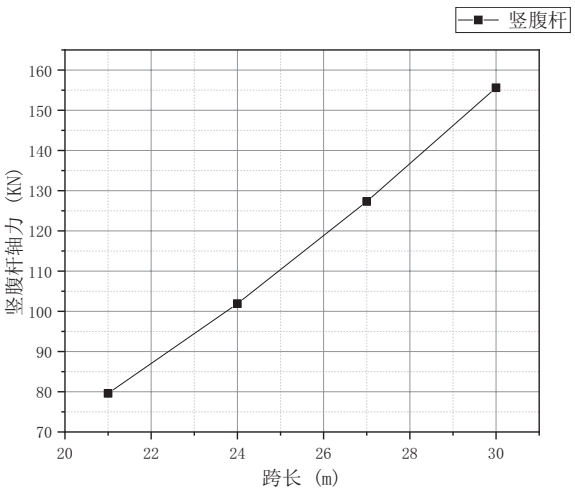


图28　点线图

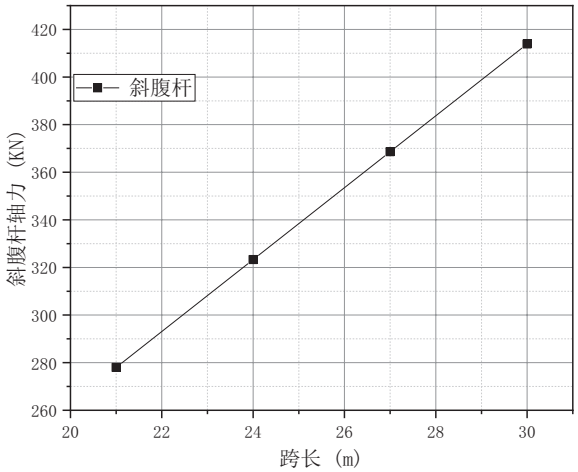


图29　点线图

## 4　结论

通过对超高层建筑施工智能化液压顶升钢平台模架体系项目的四榀贝雷架模型分析得出贝雷架在不同等级荷载作用下的内力规律：

1）在不同等级节点荷载作用下，相同跨度的贝雷架结构中上弦杆、下弦杆、竖腹杆、斜腹杆的最大轴力值均与节点荷载成线性关系，下弦杆的变化率为最大，其次为上弦杆，再其次为斜腹杆，变化率最小的为竖腹杆。

2）不同跨度下，相同大小节点荷载作用下，贝雷架结构中的上弦杆、下弦杆、竖腹杆、斜腹杆轴力最大值均随着跨度增大而增大，且上弦杆、下弦杆、竖腹杆轴力最大值的变化率与跨度成正比，随跨度增大而增大。斜腹杆轴力最大值随跨度增加变化率不变，即与跨度成线性关系。

3）贝雷架结构中，上弦杆轴力最大值出现在跨中部位构，下弦杆轴力最大值出现在跨中部位，竖腹杆轴力最大值出现在跨中部位，斜腹杆轴力最大值出现在靠近支座两端部位。

**参考文献**

[1]丁洁民，吴宏垒，赵昕. 我国高度250m以上超高层建筑结构现状与分析进展[J]. 建筑结构学报，2014，35(3)：1–7.

[2]胡玉银. 超高层建筑施工[M]. 北京：中国建筑工业出版社，2013.

[3]GB 5009—2012，建筑结构荷载规范[S].

[4]陈绍蕃. 钢桁架的次应力和极限[J]. 钢结构，2005，20(4)：1–4.

[5]余宗明. 建筑施工架结构设计方法[M]. 北京：中国建筑工业出版社.



(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net