

文章编号:1000-582X(2006)09-0134-04

# 胎架立杆承载力计算分析\*

姚刚<sup>1</sup>,刘伟亮<sup>1</sup>,周忠明<sup>2</sup>

(1. 重庆大学 土木工程学院, 重庆 400030; 2. 广厦重庆第一建筑(集团)有限公司, 重庆 400051)

**摘要:**胎架是指主要起承重受力作用的脚手架,在模板工程、钢结构安装工程、桥梁工程中应用广泛. 为了保证结构施工中胎架的安全,快速准确地对胎架进行设计计算具有重要的工程意义. 与常用的单双排脚手架计算不同,胎架承载力的计算需要通过设计确定. 通过分析影响承载力的各种因素及胎架破坏形式,运用参考规范的概率极限状态设计法和 ANSYS 程序分析的方法,得出了给定胎架参数下的承载力数值表格,对胎架立杆的搭设具有指导作用.

**关键词:**胎架;承载力;脚手架

**中图分类号:** TU712

**文献标识码:** A

胎架是指主要起承重受力作用的脚手架,在模板工程、钢结构安装工程、桥梁工程中应用广泛. 与常用单双排脚手架不同,由于其支撑的结构形式、重量差别很大,胎架的设计差异较大. 作为施工时的临时结构,计算方法应简便可靠的确定其承载能力同时保证经济合理.

## 1 胎架承载力计算分析

### 1.1 胎架破坏形式分析

大量工程实践表明,胎架的破坏主要是立杆失稳导致脚手架坍塌,包括整体失稳和局部失稳. 整体失稳破坏时,立柱与水平杆组成的空间框架结构顺惯性矩较小的弱轴平面内呈大波鼓曲现象,各排立柱的鼓曲方向一致,失稳曲线的半波长度大于步距. 局部失稳破坏时,立柱在步距之间发生小波鼓曲,鼓曲方向可能在立柱与水平杆组成的2个方向的竖向平面内,也可能沿任意方向,失稳曲线的半波长度接近等于步距<sup>[1-2]</sup>.

从胎架构造形式分析<sup>[3]</sup>,当以相等的步距、柱距、排距搭设时,立柱的局部承载力高于整体承载力,但胎架的长宽比较为接近,平面接近于正方形而不是长条形时,二者承载力值应相差不多. 当胎架搭设时步距、柱距有变化,局部的脚手架较稀疏时,立柱受荷不均则容易发生局部失稳破坏.

从受力状态分析,胎架主要承受钢桁架等结构的自重,结构往往通过千斤顶、枕木等传力给胎架,此时

胎架的受力面积较小,荷载传递集中在局部,而其他作为施工操作面的地方荷载相对较小,胎架整体受力不均匀,易发生局部失稳破坏的情况,因此施工中应尽量加大荷载传递至胎架的接触面积.

无论哪种破坏,胎架的承载能力主要由立杆决定,立杆的承载能力由其整体或局部失稳时的临界荷载决定.

### 1.2 胎架计算的特殊性

胎架是由水平杆、立杆组成的多层多跨框架结构,立杆稳定计算问题,实际上是一个节点为半刚性的空间框架稳定计算问题,但和一般的框架相比其特殊点是:

1) 构架的不严格性. 胎架的构造型式、尺寸参数和杆件设置常随应用对象和施工要求的不同而变化,有时需要局部改变杆件设置:它的搭设也不像工程结构那样严格地按照设计图纸施工,在搭设中又常常由于各种原因,例如施工人员认识不足、要求不严,架设材料供应不足,操作工人的经验和主观意见等而改变构架参数,例如整架或局部地改变构件尺寸、随意减少杆件等. 而基础和立杆支垫不好和立杆偏斜过大的情况较为普遍地存在. 这些情况的存在,都将导致脚手架的设计计算依据与施工的实际情况不符,甚至差别显著.

2) 节点性能的差异性. 连接杆件的扣件节点,在荷载作用下具有相当的抗转动能力,是一种半刚性节点. 其刚

\* 收稿日期:2006-03-05

作者简介:姚刚(1963-),男,四川营山人,重庆大学副教授,博士,主要从事建筑施工技术教学与研究的研究.

性与扣件的质量和拧紧程度密切相关,也直接影响到胎架的结构刚度.在一定扭力矩范围内( $< 50 \text{ N} \cdot \text{m}$ ),扭力矩愈大则脚手架节点刚性愈强,承载能力也可相应得到提高,试验证明,扣件螺栓拧紧扭力矩达  $40 \sim 50 \text{ N} \cdot \text{m}$  时,脚手架节点才具有必要的和稳定的抗转动刚度.

3) 结构和材料缺陷的难控性.脚手材料是周转使用工具,在反复搭设、使用、拆除、运输和存放的过程中,会使其杆配件产生程度不同的损伤,如锈蚀、弯曲变形、连接件裂纹、螺栓滑扣等,难以严格控制和消除上述这些初始缺陷和使用过程中出现的变化.

4) 荷载的变异性.胎架的结构静载和施工活荷载分布情况的变化较大,局部荷载集中和受力偏心较大的情况较为普遍,不容易严格掌握和控制.

上述特殊性,均对胎架的使用安全不利,同时也给脚手胎架的设计计算造成许多难以控制的影响因素.尽管胎架这种结构物并不比建筑工程结构更为复杂和多变化,但它是作为施工设施,而不是作为一种工程结构物来考虑的,长期以来没有组织力量为其设计计算进行必要的和全面的研究,对有关构架型式和参数、荷载情况和使用效果,以及事故的频率和原因等方面缺少系统积累和统计资料,因此,尚不完全具备对上述变异性较大的诸多影响因素进行全面概率分析的条件,这就使得建立科学的设计计算方法有较大的难度.对于应该严格按照构造要求实施的因素,应在施工中给与保证,设计计算中均不予考虑.

## 2 立杆稳定计算

### 2.1 参考规范的概率极限状态设计法

#### 2.1.1 计算方法及公式

参考单双排脚手架立柱的计算方法,采用按概率极限状态设计法<sup>[3-6]</sup>的要求,立杆的稳定性应按下列公式计算:

$$\text{不组合风荷载时: } \frac{N}{\varphi \cdot A} \leq f;$$

$$\text{组合风荷载时: } \frac{N}{\varphi \cdot A} + \frac{M_w}{W} \leq f.$$

式中  $N$  为计算立杆段的轴向力设计值; $f$  为钢材抗压强度设计值; $\varphi$  为轴心受压构件的稳定系数,应根据长细比  $\lambda$  查表取值; $\lambda$  为长细比,  $\lambda = l_0/i$ ,  $l_0$  为计算长度,  $l_0 = k\mu h$  为计算长度附加系数,其值取  $1.55$ ,  $\mu$  为考虑脚手架整体稳定因素的单杆计算长度系数,取值在  $1.5 \sim 2.0$  之间,  $h$  为立杆步距,  $I$  为截面回转半径;  $A$  为立杆的截面面积;  $M_w$  为计算立杆段由风荷载设计值

产生的弯矩.

#### 2.1.2 计算方法及公式分析

规范中的计算方法实际是一种简化实用的计算方法,力求简单、正确、可靠.

1) 把脚手架的整体稳定计算简化为对单根立柱稳定的计算.具体做法是将立柱步距乘以大于  $1.0$  的系数作为立柱稳定的计算长度,称这个系数为立柱计算长度系数  $\mu$ ,  $\mu$  是反映脚手架各杆件对立杆的约束作用,单、双排脚手架根据步距、排距、连墙件竖向间距查表确定,对于胎架来说,由于水平杆一般间距较小,对立杆的约束作用较强,胎架整体刚度较强,可以取  $\mu$  为  $1.5$  的最小值.  $\mu$  值综合了影响脚手架整体失稳的各种因素,也包含了立杆偏心受荷(初偏心 =  $53 \text{ mm}$ ) 的实际工况.

2) 关于施工荷载的偏心作用.施工荷载一般是偏心地作用于脚手架上,作业层下面各排立杆所分担的施工荷载并不相同,工作面上水平杆的加密、支撑作用增强有利于施工荷载的均匀传递.由于在一般情况下,  $N$  值计算可以忽略施工荷载的偏心作用,立杆可按施工荷载平均分配计算.

3) 脚手架立杆计算长度附加系数  $k$  的确定.由容许应力法转化为概率极限状态设计法时,根据使新旧规范安全度水平相同的原则,并假设新旧规范采用的荷载和材料强度标准值相同,结构抗力调整系数按承载力极限状态推导并转化为立杆长度计算附加系数  $k$  予以考虑.

#### 2.1.3 计算结果及分析

取立杆柱距  $l_1$ 、排距  $l_2$  分别为  $0.5 \text{ m}$ 、 $0.8 \text{ m}$ 、 $1.0 \text{ m}$ 、 $1.2 \text{ m}$ 、 $1.5 \text{ m}$ 、 $1.8 \text{ m}$ ,水平杆步距  $h$  分别为  $0.8 \text{ m}$ 、 $1.0 \text{ m}$ 、 $1.2 \text{ m}$ 、 $1.5 \text{ m}$ 、 $1.8 \text{ m}$ 、 $2.0 \text{ m}$ ,代入公式计算单位面积的极限承载力结果如表 1.

取立杆柱距  $l_1$  为  $0.5 \text{ m}$  时的计算数据用图 1、图 2 形式分析如下:

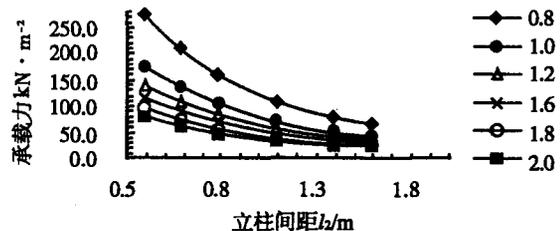


图 1 承载力与立柱间距  $l_2$  关系

从图 1、图 2 中可以看出,在不考虑结构自重的情况下,减小立杆柱距、排距、水平杆步距对增大胎架的承载力有显著的作用,但是随着步距、间距的增大,承载力的下降变缓,柱距、步距对承载力的影响是同时

的,仅仅减小某一参数的数值,承载力的提高不明显.如在步距为 1.5 m 的情况下,立杆排距从 1.5 m 减小到 0.8 m,承载力从 35 kN/m<sup>2</sup> 增加到 66 kN/m<sup>2</sup>,若同时将步距减小到 1.2 m,承载力从 35 kN/m<sup>2</sup> 增加到 97 kN/m<sup>2</sup>,

效果比减小一个参数明显.由于公式是将整体稳定转化为单根立柱稳定的计算,所以上述计算结果没有完全考虑到胎架整体的尺寸.

表1 脚手架单位面积的极限承载力

kN/m<sup>2</sup>

$l_1/m$	$l_2/m$	$h/m$					
		0.8	1.0	1.2	1.5	1.8	2.0
0.5	0.5	270.0	208.0	156.0	105.0	74.0	61.0
	0.8	169.0	130.0	97.0	66.0	46.0	38.0
	1.0	135.0	104.0	78.0	52.0	37.0	30.0
	1.2	113.0	86.0	65.0	44.0	31.0	25.0
	1.5	90.0	69.0	52.0	35.0	25.0	20.0
	1.8	75.0	58.0	43.0	29.0	21.0	17.0
0.8	0.8	106.0	81.0	61.0	41.0	29.0	24.0
	1.0	85.0	65.0	49.0	33.0	23.0	19.0
	1.2	70.0	54.0	41.0	27.0	19.0	16.0
	1.5	56.0	43.0	32.0	22.0	15.0	13.0
	1.8	47.0	36.0	27.0	18.0	13.0	11.0
1.0	1.0	68.0	52.0	39.0	26.0	19.0	15.0
	1.2	56.0	43.0	32.0	22.0	15.0	13.0
	1.5	45.0	35.0	26.0	17.0	12.0	10.0
	1.8	38.0	29.0	22.0	15.0	10.0	8.0
1.2	1.2	47.0	36.0	27.0	18.0	13.0	11.0
	1.5	38.0	29.0	22.0	15.0	10.0	8.0
	1.8	31.0	24.0	18.0	12.0	9.0	7.0
1.5	1.5	30.0	23.0	17.0	12.0	8.0	7.0
	1.8	25.0	19.0	14.0	10.0	7.0	6.0
1.8	1.8	21.0	16.0	12.0	8.0	6.0	4.5

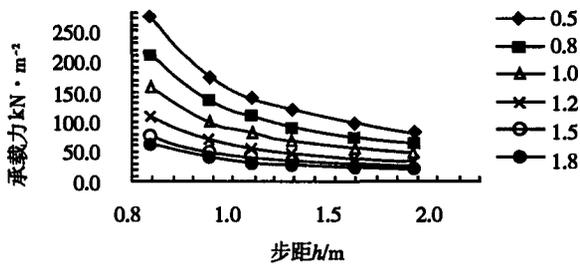


图2 承载力与步距 h 关系

## 2.2 运用 ANSYS 程序进行结构分析

### 2.2.1 计算模型假定

取如图 3 所示的空间钢管框架结构单元为计算模型,为使诸多计算模型简化,取柱距、排距相等,与不同的步距组合计算,扣件连接简化为全刚性节点,胎架整体按照弹性分析计算,在单位面积荷载下计算钢管立柱应力,反推立柱极限承载力.荷载根据脚手板简支在一个方向的水平横杆上按照面积平均分配.

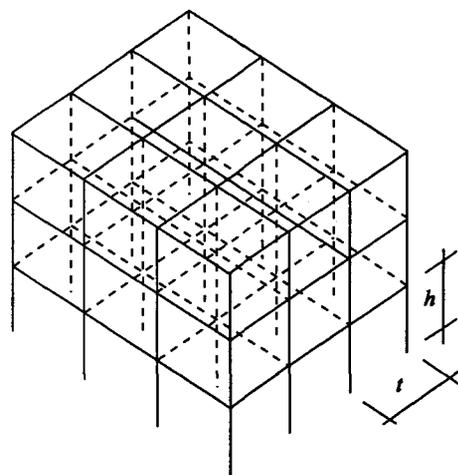


图3 计算模型

### 2.2.2 计算结果及分析

柱距、排距、步距的数据采用同前,结果如表 2.

表2 单位面积极限承载力 KN/m<sup>2</sup>

l/m	h/m				
	0.8	1.0	1.2	1.5	1.8
0.5	98.2	97.3	96.5	96.1	95.8
0.8	23.2	23.1	23.0	22.9	22.8
1.0	11.9	11.8	11.8	11.7	11.7
1.2	6.9	6.9	6.9	6.8	6.8
1.5	3.6	3.6	3.5	3.5	3.5

从表2数据中可以看出,水平杆的间距及步距的变化对承载力影响不明显,这是基于计算模型为线弹性分析,所以计算得出的承载力变化很小。但是表中数据很明显的说明了立杆间距的变化对承载力有显著影响。

### 3 计算结果的比较及结论

1)在步距很小时( $h < 1.5$  m)可以发现,程序计算的结果反而小于规范计算的结果。这是因为在用 ANSYS 进行结构计算时,提取的最大应力为某一点的应力,相当于把胎架破坏的准则标定为边缘屈服,而实际上,钢管截面应力有一个塑性发展的过程,材料的塑性使结构仍然能抵抗荷载作用,规范公式则考虑了塑性发展过程,所以计算结果比程序计算所得的值要大;

2)胎架的整体尺寸越大,稳定性越好,但当立柱间距较大时,胎架的破坏向局部稳定破坏发展,应验算局部稳定;

3)水平杆间距对胎架立杆稳定承载力影响不显著,尤其是在考虑自重情况下,因此增大胎架承载力不

应采用减小步距的方法。但水平杆起到约束作用,保证立杆整体、局部稳定的条件,因此也不宜较大,应满足要求使立柱的长细比  $l < 250$ ;

4)由于胎架的搭设形式本身具有比单、双排脚手架较好的整体刚度,在此种情况下剪刀撑、横向支撑起到的作用大小有待进一步分析,但它加强了钢管框架结构的刚性,保证计算模型中的假定与实际情况较为接近,对于胎架来说是必不可少的构造措施;

5)胎架搭设时承载力取上述计算结果的较小值比较合理。即步距  $h \leq 1.5$  m 时,采用程序计算结果,当  $h > 1.5$  m 时,采用规范计算结果。

同时应注意胎架主要承受所支撑结构的自重,通过千斤顶、枕木等传递给胎架,因此荷载应根据结构自重的实际传力面积计算,而不是整个胎架的面积。对此,胎架可采用局部加强的方式,以不同的立杆间距、步距混合搭设,更能保证结构施工阶段的安全。

#### 参考文献:

- [1] 杜荣军. 建筑施工脚手架实用手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1994.
- [2] 余宗明. 新型脚手架的结构原理及安全应用[M]. 北京:中国铁道出版社,2001.
- [3] 陈惠发. 钢框架稳定设计[M]. 周绥平译. 上海:上海世界图书出版公司,2001.
- [4] JGJ30-2001. 建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范[S].
- [5] 江正荣. 建筑施工计算手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2001.
- [6] GB50017-2003. 钢结构设计规范[S].

## Load-carrying Capacity Calculate and Analysis of Staging Stake

YAO Gang<sup>1</sup>, LIU Wei-liang<sup>1</sup>, ZHOU Zhong-ming<sup>2</sup>

(1. College of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China;

2. Guangsha Chongqing First Construction(group) Co. td, Chongqing 400051, China)

**Abstract:** Falsework is a kind of scaffoldwork using load bearing. It has widely use in scaffoldwork and bridgework and steel construction. For assuring falsework safety on structure construction, it is very important to quickly and accurately calculate falsework. Load - carrying capacity of staging of should be calculate by special design, which is from common used single row or double rows falsework. The authors analyze all kinds of factor and failure mode related to carrying capacity and find the result of numerical list by ANSYS program and code when the parameter of staging is determinated. It has important guidance role in erection of falsework pole.

**Key words:** staging; carrying capacity; scaffoldwork

(编辑 姚飞)